



**Maria Inês Duarte  
Ramos Estima**

**COMPARAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS  
PRODUZIDOS COM IMAGENS ADQUIRIDAS POR  
UAV E AVALIAÇÃO DE VOLUMES.**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geoinformática, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Luísa Maria Gomes Pereira, Professora Coordenadora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda da Universidade de Aveiro

Aos meus filhos, Romeu e Eduardo  
Ao meu marido, Rúben

por tudo o que vivemos.

## **o júri**

presidente

**Professor Doutor Joaquim José de Castro Ferreira**  
professor adjunto de Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda

**Professora Doutora Luísa Maria Gomes Pereira**  
professora coordenadora de Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda

**Professor Doutor José Alberto Álvares Pereira Gonçalves**  
professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## **agradecimentos**

À Professora Luísa Pereira, com quem foi um enorme prazer trabalhar, por toda a sapiência, disponibilidade, por todas as críticas sempre construtivas, mas também por toda a compreensão e apoio.

À Professora Zulmira Pereira por toda a disponibilidade e ajuda.

Aos professores Joaquim Ferreira, Ciro Martins, Jorge Gonçalves, João Paulo Hespanha, António Barbeito e Fábio Marques, por todos os ensinamentos e disponibilidade;

Às minhas irmãs, cunhado e sobrinhos, por toda a ajuda e apoio durante todo este percurso;

À minha maior amiga e aos seus filhos, pelo apoio, amizade e carinho ao longo desta etapa;

Ao Engenheiro João Abreu, por todo o apoio e incentivo ao longo de todo o meu percurso na Geolayer;

À Firemap, pela disponibilização de dados para esta dissertação.

## palavras-chave

Modelação 3D, UAV, Volume, Nuvem de Pontos, MDT, MDS, TIN, Malha

## abstract

Na área da geoengenharia, um dos grandes obstáculos sempre foram os custos associados às operações inerentes à realização de trabalhos nos diferentes tipos de serviços e produtos que se podem elaborar nesta tão vasta área.

É importante salientar como grande benefício a utilização de novas ou mais recentes tecnologias que minimizem estes custos, e tenham como resultados iguais ou melhores produtos e serviços, comparativamente com os realizados recorrendo a métodos e tecnologias tradicionais.

Contudo, e como resultado destas necessidades, foram surgindo nos últimos tempos inúmeros sistemas, de inúmeros fornecedores, nas diversas variantes da geoengenharia, facto que se traduz numa larga lista de possibilidades de utilização de equipamentos e ferramentas para estes fins.

Assim, nesta dissertação, para além de avaliar a exatidão e precisão destas novas tecnologias comparativamente com métodos tradicionais, pretende-se também estabelecer comparação dentro das novas tecnologias, entre as várias possibilidades existentes no mercado.

Os temas de dissertação apresentados enquadram-se no projeto “ROADMAP BCP BAIÃO”, que consiste na Modelação 3D, com base em dados levantados com recurso a UAV, e posterior comparação e avaliação de resultados dos diferentes modelos gerados com recurso a vários softwares (Parte 1 da dissertação), e “FERROVIAL Aterro 16”, para cálculo de volumes, com base em dados de aterro sanitário levantados com recurso a UAV para posterior comparação com cálculo efetuado com base em topografia, e dados de maquetes com volumes conhecidos, para comparação (Parte 2 da dissertação), a desenvolver pela Geolayer – Estudos de Território, Lda.

Na primeira parte serão abordados os trabalhos inerentes ao desenvolvimento e criação de ambiente tridimensional com a finalidade de promoção de propriedade no mercado imobiliário, permitindo a manipulação e visualização 3D por parte da entidade detentora da mesma, mas principalmente por possíveis compradores.

A propriedade situa-se no concelho de Baião, é propriedade da instituição bancária Millennium BCP, e é composta por terreno e edificação que se encontra em zona de acesso condicionado.

A segunda parte da dissertação assentará num teste de comparação entre volumes de aterro calculados com dados levantados com topografia, e volumes de aterro calculados com dados levantados com recurso a sistema UAV. O aterro sanitário em causa designa-se por “Aterro do Planalto Beirão”, situa-se no concelho de Tondela, e é concessionado pela entidade agora responsável FERROVIAL SERVIÇOS SA.

**keywords**

3D modeling, UAV, Volume, Point Cloud, MDT, MDS, TIN, GRID

**abstract**

In the area of geoengineering, one of the major obstacles have always been the costs associated with the operations involved in carrying out work in different types of services and products that may develop in this vast area.

It is important to point out how great is the use of new or newer technologies that minimize these costs, and have as results equal to or better products and services, compared to those made using traditional methods and technologies.

However, as a result of these needs have appeared in recent times numerous systems, from many providers vendors of geoengineering systems fact which translates into a long list of possibilities for using equipment and tools for these purposes.

Thus, in this thesis, in addition to evaluating the accuracy and precision of these new technologies compared to traditional methods, it is intended to also establish comparison within the new technologies among the various possibilities on the market.

The presented dissertation topics fall within the project "ROADMAP BCP BAIÃO", which consists of 3D modeling based on data collected using the UAV, and subsequent comparison and evaluation of results of different models generated using various software (Part 1 of the dissertation), and "FERROVIAL ATERRO 16" for volumes calculation, based on landfill of data collected using the UAV to be compared with calculations made based on topography, and models of data with known volumes for comparison (Part 2 of the dissertation), to be developed by Geolayer - Estudos de Território, Lda.

The first part will deal with the inherent development work and creating three-dimensional environment for property promotion purpose in the housing market, allowing the manipulation and 3D visualization by the entity holding it, but mainly for potential buyers.

The property is located in the municipality of Baião, and is owned by the bank Millennium BCP, and is composed of land and building which is in restricted access zone.

The second part of the dissertation will be based on a comparison test between landfill volumes calculated with data collected with topography, and landfill volumes calculated with data collected using UAV system. The landfill in question is called a "Aterro do Planalto Beirão", is located in Tondela municipality, and is now responsible for the concession entity FERROVIAL SERVIÇOS SA.

## ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. ESTADO DA ARTE.....	11
2.1. Sistemas UAV .....	11
2.2. Software de Processamento de Imagem.....	13
2.3. Comparação de volumes .....	14
2.4. Conclusão.....	15
3. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	16
3.1. Enunciado do Problema .....	16
3.2. Objetivos .....	17
3.3. Enquadramento.....	17
3.4. Conceitos Básicos .....	18
3.4.1. Recolha da Informação.....	18
3.4.2. Processamento.....	19
3.4.2.1. Nuvens de pontos .....	21
3.4.2.2. Modelos tridimensionais (3D).....	22
3.4.2.3. Cálculo de volumes .....	22
3.5. Recursos .....	24
3.5.1. Hardware .....	24
3.5.1.1. Câmara Sony ILCE 7M2.....	25
3.5.1.2. Workstation para Processamento - Dell Precision T7810 CTO Base .....	25
3.5.1.3. ESTAÇÃO TOTAL Nikon NPR 332.....	25
3.6. Software para Processamento.....	25
3.6.1. Agisoft.....	25
3.6.2. Pix4D.....	26
3.6.3. 3DSurvey.....	26
3.6.4. MDT Standard Software .....	27
3.7. Critérios para Avaliação.....	27
3.8. Input e Output .....	28
3.8.1. Parte 1 - Modelos de Águeda e Baião .....	28
3.8.2. Parte 2 - Topografia das Maquetes.....	28
3.8.3. Parte 2 - Modelos 3D das Maquetes.....	29
3.8.4. Parte 2 - Topografia do Aterro Sanitário.....	30
3.8.5. Parte 2 - Modelos 3D do Aterro Sanitário.....	30
4. Metodologia .....	30

4.1.	Metodologia para Comparação de Modelos Tridimensionais Gerados em Vários Softwares	30
4.2.	Metodologia para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Topografia e Modelos Tridimensionais.....	34
4.2.1.	Maquetes .....	34
4.2.2.	Aterro Sanitário.....	38
5.	IMPLEMENTAÇÃO, PROCEDIMENTOS E TESTES .....	42
5.1.	Implementação para Comparação de Modelos Tridimensionais Gerados em Vários Softwares de Baião e Águeda.....	42
5.1.1.	Modelos de Baião e Águeda gerados no PhtScan da Agisoft .....	44
5.1.2.	Modelos de Baião e Águeda gerados no Pix4Dmapper da Pix4D .....	46
5.1.3.	Modelos de Baião e Águeda gerados no 3D Survey da Modri Planet .....	48
5.2.	Implementação para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Modelos Tridimensionais de Maquetes, e de Aterro Sanitário .....	50
5.2.1.	Volumes Calculados a Partir de Topografia, Métodos Tradicionais e Modelos Tridimensionais de Maquetes.....	50
5.2.1.1.	Levantamento Topográfico, Medições à fita e Aquisição de Imagens.....	50
5.2.1.2.	Cálculo do volume utilizando dados de levantamento topográfico.....	53
5.2.1.3.	Criação de Modelos 3D no Agisoft.....	54
5.2.2.	Volume de Aterro Sanitário Calculado a Partir de Topografia e de Imagens UAV .....	60
5.2.2.1.	Cálculo do volume utilizando dados de levantamento topográfico.....	60
5.2.2.2.	Cálculo do volume utilizando Imagens UAV .....	61
5.2.2.2.1.	Geração da nuvem de pontos do Aterro Sanitário.....	63
5.2.2.2.2.	Geração da malha e cálculo do volume.....	65
6.	Apresentação e Análise dos Resultados .....	67
6.1.	Resultados e Análise da Comparação de Modelos 3D de Baião e Águeda Gerados em Vários Softwares .....	67
6.1.1.	Qualidade Realística dos Modelos .....	67
6.1.1.1.	PhotoScan da Agisoft .....	67
6.1.1.2.	Pix4Dmapper da Pix4D.....	70
6.1.1.3.	3D Survey da Modri Planet.....	73
6.1.2.	Tempo de Processamento.....	76
6.1.3.	Tamanho em Disco.....	77
6.1.4.	Análise Global.....	78
6.2.	Resultados da Comparação de Volumes Calculados a Partir de Modelos 3D de Maquetes e Aterro Sanitário.....	79
6.2.1.	Resultados da Comparação de Volumes Calculados a Partir dos Modelos 3D de Maquetes	79



6.2.2. Resultados da Comparação de Volumes Calculados a Partir do Modelo 3D e da Topografia do Aterro Sanitário .....	82
7. Considerações finais e Conclusões e Trabalhos Futuros.....	85
7.1. Considerações Finais e Conclusões.....	85
7.1.1. PARTE 1 - Qual a melhor ferramenta de processamento para modelos 3D para visualização? .....	85
7.1.2. PARTE 2 - Qual a fiabilidade de volumes calculados com a fotogrametria e imagens adquiridas por UAV? .....	86
7.1.2.1. Maquetes .....	86
7.1.2.2. Aterro sanitário.....	87
7.2. Trabalhos Futuros.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Imagens conjugadas com pontos de controlo .....	19
Figura 2 - Nuvem de Pontos.....	20
Figura 3 - MDT .....	20
Figura 4 - Modelo 3D Texturado .....	21
Figura 5 - Faces e Dimensões de Prismóide .....	23
Figura 6 - Curvas de Nível .....	23
Figura 7 - Curvas de Nível .....	24
Figura 8 - Método da Malha.....	24
Figura 9 - Objetos seleccionados para maquetes .....	29
Figura 10 - Fluxograma da Metodologia para Comparação de Modelos Tridimensionais Gerados em Vários Softwares .....	33
Figura 11 - Formas (corretas e incorretas) de aquisição de imagens para fins de modelação 3D....	35
Figura 12 - Fluxograma da Metodologia para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Topografia e Modelos Tridimensionais de Maquetes .....	37
Figura 13 - Fluxograma da Metodologia para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Topografia e Modelos Tridimensionais de Aterro Sanitário .....	41
Figura 14 - Aquisição de Imagens UAV (Baião). A. UAV utilizado; B. Fase de Preparação; C. UAV em pleno voo .....	42
Figura 15 - Esquema de voo da aquisição de imagens UAV de Baião .....	43
Figura 16 - Ponto de controlo para aquisição de imagens UAV de Baião .....	43
Figura 17 - Modelo 3D de Águeda gerado no PhtoScan da Agisoft .....	46
Figura 18 - Modelo 3D de Águeda gerado no Pix4Dmapper da Pix4D.....	48
Figura 19 - Levantamento Topográfico de Maquetes .....	51
Figura 20 - Esquema do Levantamento Topográfico de Maquetes.....	52
Figura 21 - Medições "à Fita" efetuadas às Maquetes .....	52
Figura 22 - Exemplo das propriedades apresentadas pelo comando MASSPROP do Autocad Civil .....	54
Figura 23 - Nuvem de Pontos do Paralelepípedo gerada no PhtoScan da Agisoft.....	55
Figura 24 - <i>Mesh</i> do Paralelepípedo gerada no PhtoScan da Agisoft (A. Imagem global - B. Imagem de Pormenor).....	56
Figura 25 - Modelo 3D Texturado do Paralelepípedo gerada no PhtoScan da Agisoft .....	57
Figura 26 - Modelo 3D da Esfera Georreferenciado através de uma <i>Scale Bar</i> .....	58
Figura 27 - Modelo 3D do Cilindro (A. Modelo Total - B. Modelo Tratado) .....	59
Figura 28 - Pormenor do Paralelepípedo depois de efetuado o comando <i>Close Holes</i> .....	60

Figura 29 - Pontos e linhas resultantes do Levantamento Topográfico .....	61
Figura 30 - Aquisição de Imagens UAV (Aterro Sanitário). A. Fase de Preparação; B. UAV utilizado; C. UAV em pleno voo.....	62
Figura 31 - Esquema de voo da aquisição de imagens UAV de Aterro Sanitário.....	62
Figura 32 - Localização dos Pontos de Controlo na Área de Intervenção .....	63
Figura 33 - Nuvens de Pontos (A. Nuvem mais Densa - B. Nuvem mais Dispersa) .....	65
Figura 34 - Pormenor do Modelo 3D de Baião gerado no PhotoScan (A. Edificação - B. Vegetação).....	68
Figura 35 - Parte do Modelo 3D de Águeda gerado no PhotoScan.....	69
Figura 36 - Pormenor do Modelo 3D de Águeda gerado no PhotoScan.....	70
Figura 37 - Pormenor do Modelo 3D de Baião gerado no Pix4Dmapper (A. Edificação - B. Vegetação).....	71
Figura 38 - Parte do Modelo 3D de Águeda gerado no Pix4Dmapper .....	72
Figura 39 - Pormenor do Modelo 3D de Águeda gerado no Pix4Dmapper .....	73
Figura 40 - Pormenor do Modelo 3D de Baião gerado no 3D Survey (A. Edificação - B. Vegetação).....	74
Figura 41 - Parte do Modelo 3D de Baião (zona central e periferia) gerado no 3D Survey .....	74
Figura 42 - Parte do Modelo 3D de Águeda gerado no 3D Survey .....	75
Figura 43 - Pormenor do Modelo 3D de Águeda gerado no 3D Survey .....	76
Figura 44 - Comparação de Pormenor do Modelo 3D de Baião nos 3 Softwares (A. Agisoft - B. Pix4D - C. 3D Survey) .....	76
Figura 45 - Modelos 3D das Maquetes (A. Esfera - B. Cilindro - C. Paralelepípedo).....	80
Figura 46 - Sólidos das Maquetes criados com dados de Topografia (A. Esfera - B. Cilindro - C. Paralelepípedo).....	81
Figura 47 - Malha de referência (a azul) e a Malha atual (a vermelho) do Aterro Sanitário .....	83
Figura 48 - Pormenor da Malha de referência (a azul) e da Malha atual (a vermelho) do Aterro Sanitário .....	83

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas UAV Referenciados desde 2005 a 2016 .....	11
Tabela 2 - Tempo de Processamento do Modelos 3D .....	77
Tabela 3 - Tempo ocupado em disco pelos Modelos 3D .....	77
Tabela 4 - Valor do Volume em m <sup>3</sup> resultantes da Topografia, Fotogrametria e Medições à Fita ..	81
Tabela 5 - Diferenças do Valor do Volume em m <sup>3</sup> e respetivo erro relativo.....	82
Tabela 6 - Resumo dos resultados do modelo 3D de Baião .....	85
Tabela 7 - Resumo dos resultados do modelo 3D de Águeda .....	85

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

UAV - Unmanned Aerial Vehicle

UAS - Unmanned Aircraft System

RPAS - Remotely Piloted Aircraft System

RTK - Real Time Kinematic

SIFT - Scale Invariant Feature Transform

DTM - Digital Terrain Model

DSM e MDS - Digital Surface Model e Modelo Digital de Superfície

LIDAR - Light Detection And Ranging

GNSS - Global Navigation Satellite System

INS - Inertial Navigation System

TIN - Triangulated Irregular Network

# 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e consequente evolução de sistemas UAV, bem como de software de processamento de imagens adquiridas pelos mesmos, está mais rápido e eficaz do que nunca.

À data desta análise, surgem anúncios de novos sistemas, o que se começa a traduzir em dezenas de soluções comerciais disponíveis num mercado cada vez mais com uma maior oferta, mais diversificada e mais evoluída.

O número de investigadores e técnicos interessados em desenvolver ou mesmo fazer evoluir estes equipamentos e programas é cada vez mais significativo, traduzindo-se muitas vezes em inúmeros artigos científicos sobre estas temáticas, e direcionados para um vasto leque de áreas, matérias e aplicações.

De acordo com pesquisa do mercado (MarketsandMarkets, 2016), estima-se que o mercado de sistemas UAV seja de 13,22 bilhões de dólares, devendo atingir até 2022 os 28,27 bilhões.

Foi já identificado o potencial uso dos sistemas UAV e respetivas imagens pela Fotogrametria há mais de 30 anos. Contudo, nos últimos 5, esta disciplina desenvolveu métodos e tecnologias que desafiam os métodos tradicionais de aquisição e processamento. Combinam-se equipamentos de baixo custo com uma visão informática sofisticada, com robótica e complementados com conceitos de engenharia geográfica (I. Colomina, 2014).

As evoluções, que se podem classificar de extremamente significativas, verificam-se ao nível de hardware, com a miniaturização dos componentes (câmara, GNSS, INS), a robustez dos equipamentos, a autonomia das plataformas, as novidades em termos de sensores incluídos nas plataformas (LIDAR, câmaras Multi/Hiperespetrais/Térmicas), mas também ao nível de software de processamento das imagens, que é cada vez mais robusto acomodando as diversas configurações de voo.

Os resultados são produtos com resoluções e precisões na ordem dos centímetros, mesmo que resultantes de informação adquirida recorrendo a sensores que podem custar na ordem dos 100€ (I. Colomina, 2014).

O processamento de toda a informação adquirida é outra fase crucial de extrema importância para que se obtenham os resultados pretendidos. Da mesma forma que o mercado dos sistemas UAV tem crescido exponencialmente, também a quantidade de ferramentas de processamento tem aumentado a cada dia que passa.

Baseados em algoritmos de processamento poderosíssimos, muitas vezes conjugados entre si, estas ferramentas conseguem hoje em dia tratar informação básica e transformá-la em

produtos cartográficos de extrema qualidade e precisão, para as mais variadas áreas, sejam elas a agricultura, ambiente, ou mesmo o mercado imobiliário entre outros.

Outro produto resultante do tratamento de informação adquirida por Fotogrametria com imagens de um UAV é estimadores de volumes que servem as mais variadas áreas como a construção civil ou a extração mineira, tendo cada vez mais destaque na área da monitorização, seja de alterações da orla costeira ou de aterros sanitários.

De forma a acompanhar toda esta evolução, e ajudar a tornar as empresas mais eficazes e competitivas, ao longo desta dissertação foi abordada numa primeira parte a comparação de três softwares de processamento de imagens UAV, com base em vários critérios de avaliação de entre os quais se salienta a qualidade realística, e cujos resultados servirão de base à escolha da melhor ferramenta analisada para criação de modelos 3D para visualização.

Numa segunda parte, foi também aferida a fiabilidade do cálculo de volumes recorrendo à Fotogrametria, tendo para isso sido efetuados dois estudos. Numa primeira abordagem foram utilizados três objetos de formas conhecidas, dos quais foram calculados e posteriormente comparados os respetivos volumes recorrendo a dados de Topografia, Fotogrametria e medições físicas dos mesmos (utilizando fita métrica).

No segundo estudo foram comparados os volumes de um aterro sanitário calculados utilizando dados de levantamento topográfico e dados resultantes do processamento de imagens UAV, de forma a avaliar a fiabilidade da Fotogrametria para cálculo de volumes.

## **Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação desenvolve-se em 7 capítulos:

- O capítulo 1 enquadra genericamente, a nível geral e de mercado, os sistemas UAV, bem como os softwares de processamento de dados adquirida pelos mesmos.
- O capítulo 2 centra-se no estado da arte dos sistemas UAV, bem como do software de processamento de imagens adquiridas por estes sistemas e do cálculo de volumes usando este tipo de dados;
- O capítulo 3 apresenta a formulação do problema, refletindo toda a informação genérica sobre os trabalhos e equipamentos utilizados, bem como alguns conceitos gerais sobre os assuntos abordados ao longo desta dissertação;

- No capítulo 4 são enumerados e apresentados os métodos e metodologias utilizadas nos vários trabalhos apresentados;
- O capítulo 5 descreve toda a parte de implementação dos métodos e metodologias utilizadas para atingir os objetivos definidos para esta dissertação;
- É no capítulo 6 que são apresentados e analisados todos os resultados da implementação dos métodos e metodologias para alcance dos objetivos;
- O capítulo 7 centra-se nas considerações finais e conclusões, bem como nas dificuldades encontradas ao longo dos trabalhos realizados, abordando também os trabalhos que se pretendem realizar no futuro.



## 2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo é apresentada de forma genérica informação sobre sistemas UAV, e o seu estado atual de desenvolvimento, bem como da respetiva regulamentação aplicável.

É também abordado o estado atual de desenvolvimento de softwares de processamento de imagens, tendo aqui ênfase os que se apresentam mais adequados para processamento de imagens adquiridas por sistemas UAV. É ainda feita uma breve referência aos principais algoritmos de *image-matching*.

Por último são apresentados estudos e investigações recentes sobre comparação de volumes calculados recorrendo a diferentes técnicas e tecnologias, que permitem tirar algumas conclusões sobre a precisão das novas tecnologias.

### 2.1. Sistemas UAV

Descrever qual o estado da arte dos sistemas UAV não é tarefa fácil, uma vez que é evidente a alta velocidade a que estes sistemas se encontram a evoluir.

Para um total de 60 países incluindo Portugal, foram produzidos/desenvolvidos 2023 sistemas de todas as categorias, sendo os Estados Unidos da América o que mais contribuiu para este conjunto, com 484 sistemas seguidos da República Popular da China com 213. Em Portugal foram desenvolvidos 16 sistemas, bem como no Japão, o que se traduz em 0,79% da cota de produção mundial (Yearbook, 2016).

Ao longo dos últimos anos, foi proporcional o crescimento do número de sistemas desenvolvidos ao do número de países e entidades desenvolvedoras, como se pode constatar na tabela seguinte:

Tabela 1 - Sistemas UAV Referenciados desde 2005 a 2016 (Fonte: RPAS: The Global Perspective 2016/2017. 2016 RPAS Yearbook 14th Edition)

RPAS Referenced	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty	Qty
Total Quantity of RPAS Referenced	544	603	789	974	1119	1244	1424	1581	1708	1884	2115	2020
Quantity of Producers/Developers	207	252	312	369	422	500	511	478	540	589	637	661
International Teamed Efforts	20	32	34	35	38	36	54	32	48	37	37	38
Quantity of Producing Countries	43	42	48	48	50	51	51	51	53	56	58	59

Apenas entre 2015 e 2016 se verificou uma ligeira diminuição do número de sistemas referenciados, contudo o número de entidades desenvolvedoras aumentou em 24, tendo surgido também mais um país produtor.

Os sistemas UAV podem ser do tipo:

- asa fixa, que são unidades leves, compactas, que consistem de um modo geral numa asa rígida, que tem um aerofólio, peça que pela sua forma provoca uma reação favorável quando atravessa o ar, gerando maior estabilidade, o que faz com que o voo seja possível através de uma elevação causada pela velocidade do ar frontal. Estes sistemas promovem voos mais prolongados, em velocidades mais altas, permitindo assim maiores áreas de levantamento por voo.
- asa rotativa, que é um sistema com base em hélices capazes de voar em todas as direções, horizontal e verticalmente, bem como focar uma posição estacionária ou fixa. Isso torna-os instrumentos ideais para trabalhos de inspeção detalhada e monitorização, ou levantamento de áreas de difícil alcance, tais como oleodutos, pontes, linhas elétricas e linhas ferroviárias.

Dependendo da finalidade da utilização de sistemas UAV, é necessário definir a melhor combinação de componentes a utilizar de forma a garantir as especificações de cada projeto. Um dos principais componentes a ter em atenção é o sensor, uma vez que este determina que tipo de dados poderão ser recolhidos e qual a precisão com que isso será efetuado, e que poderão ser:

- na Banda do Visível, ideal para cartografia fornecendo dados muito precisos. Estes sensores têm em geral grande resolução geométrica, dado o número elevado de píxeis que possuem combinado com a possibilidade de voo a baixa altitude e lentes capazes de capturar dados de dimensões na ordem de poucos centímetros. A qualidade é considerável, apresentando uma imagem nítida de baixo ruído, mesmo em condições de pouca luminosidade.
- no Infra-Vermelho Próximo, ideal para monitorização e inspeções, podendo fornecer visualização em direto em sistema de monitor duplo. O resultado são imagens de alta resolução, de uma qualidade impressionante não só em termos de sensibilidade (velocidade de gravação), mas também na reprodução de uma gradação de cor bastante rica, apresentando uma ampla faixa mesmo em situações de elevado contraste.
- Térmico, ideal para inspeções permitindo medições de temperatura bastante precisas. Estes sensores podem produzir não somente apenas imagens térmicas tipo, mas também associar a cada pixel um valor exato de temperatura, permitindo que temperaturas exatas possam ser medidas com grande precisão.
- Multiespectral e Hiperespectral, ideais para áreas envolvendo vegetação, como a agricultura e a floresta, pois permitem a avaliação do tipo e estado da vegetação. A vegetação tem bandas de reflexão de luz e bandas de absorção de luz. Ao olhar para a relação entre a absorção e a reflexão, dados como o estado fitossanitário, stress, biomassa e outros poderão ser recolhidos.

- LiDAR (*Ligh Detection and Range*), para além de eficazes no levantamento de informação para geração de Modelos Digitais de Terreno, são também bastante interessantes na perspetiva da hidrografia, avaliação de risco, situações de emergência, agricultura, floresta, etc.

Relativamente a regulamentação nesta área, só em 2015, 18 países adotaram legislação de forma a regular a utilização de sistemas UAV, bem como o número de operadores certificados também cresceu para cerca de 6700.

Em Portugal ainda não existe legislação aprovada que regule a utilização de sistemas UAV, contudo, em maio de 2016, foi criada uma proposta de regulamentação para utilização destes sistemas, apresentada pela Autoridade Nacional de Aviação Civil.

Deverá também começar a ser debatida e negociada em breve pelos estados membros da União Europeia uma legislação europeia comum sobre este assunto.

## 2.2. Software de Processamento de Imagem

A modelação 3D de superfícies ou objetos é, nos dias de hoje, facilmente feita através da utilização de grandes quantidades de imagens, combinadas com poderosos pacotes de software de processamento das mesmas, comercial e já algum *opensource*. Na base de qualquer um destes softwares estão sempre poderosos algoritmos de *image-matching*, tais como o SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), o SURE (*photogrammetric SURface REconstruction from imagery*), ou o MicMac, entre outros.

Na maioria dos casos, particularmente no software comercial e por razões óbvias, não existe muita informação sobre os algoritmos utilizados na operação de *matching*.

Contudo, o que é perceptível é que os mesmos estão cada vez mais fortes e eficientes, proporcionando excelentes resultados finais de processamento, nas mais variadas finalidades.

De uma forma diretamente proporcional, os softwares acompanham esta curva ascendente em termos de eficiência, uma vez que possuem estes algoritmos como base de processamento. Ao longo dos últimos anos temos assistido a grandes evoluções a vários níveis no que diz respeito ao software nesta área, que se reflete muitas vezes em qualidade, mas também em quantidade, pois também os tempos requeridos para processamento têm diminuído de forma bastante satisfatória.

Apesar de existirem sempre casos de desaparecimento de alguns produtos do mercado, as principais plataformas têm conseguido evoluir e acompanhar as exigências dos utilizadores. Assim, continuamos a ter como principais soluções de processamento de

imagem o PhotoScan da Agisoft, o PIX4D Mapper, SimActive Correlator3D, entre outros, que se apresentam como soluções comerciais, uma vez que, de alguma forma, garantem a fiabilidade da componente metrológica inerente a inúmeras áreas.

O PhotoScan apresenta-se já na versão 1.3 com um *workflow* mais eficiente para todos os tipos de aplicações, bem como licenciamento do tipo flutuante, para uma melhor gestão de utilização.

No que diz respeito ao Pix4Dmapper, as novidades prendem-se ao facto de atualmente este permitir que a partir apenas de um *link* se possa partilhar modelos de superfície. Agora é também possível alterar a transparência da camada DSM para ver a elevação sobreposta em cima do ortomosaico.

Contudo, a grande inovação que tem surgido ao nível do *image matching*, para além da abordagem baseada em píxeis, é a integração de diferentes algoritmos de correlação, consistência de medidas, modelos de visualização, conhecimento da forma, restrições e abordagens de minimização em procedimentos multi-passo. Em muitos casos, isto resume-se numa abordagem multi-resolução (Cristiano Alves da Silva et al., 2015).

## **2.3. Comparação de volumes**

No que diz respeito ao estabelecimento de comparações de volumes calculados recorrendo a diferentes técnicas e tecnologias, existem já estudos e artigos bastante extensos e completos acerca deste assunto.

Já em 2013 foram destacados alguns testes recorrendo ao PhotoModeler para modelar pequenos montes de areia de volume conhecido, salientando que estas técnicas são contudo facilmente aplicáveis a pilhas de material na ordem das centenas ou milhares de metros cúbicos (Eos Systems Inc, 2013).

Também Adam Zylka em 2014, escreveu sobre o facto de serem utilizados sistemas UAV para calcular volumes de forma segura, barata e precisa, criando nuvens de pontos e MDS a partir de imagens recolhidas utilizando a plataforma UAV eBee da SenseFly.

Foi também efetuada uma avaliação da precisão do cálculo de volumes de pilhas de entulho, recorrendo a sistemas UAV, LIDAR e GNSS por (Cristiano Alves da Silva et al., 2015), onde foram tiradas conclusões sobre os resultados em termos de volume, dados pela diferença entre os MDT resultantes da utilização das diferentes tecnologias.

Foram também estabelecidas comparações entre os métodos tradicionais de levantamento e novas tecnologias para estimar volumes através de dados de Topografia e dados obtidos recorrendo a sistemas UAV por Arango e Morales, 2015.

## **2.4. Conclusão**

Efetuando uma visão global de todas as situações acima referidas, é fácil constatar que os sistemas UAV e todas as ferramentas, aplicações e produtos resultantes a eles associados, se encontram num ritmo de evolução elevadíssimo, o que obviamente se reflete na relação preço/qualidade das técnicas, criando até a expectativa de que a curto prazo, toda a geoinformação poderá estar atualizada quase em "tempo real".

### 3. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo serão abordados os temas desta dissertação, bem como os seus objetivos, os recursos e critérios de avaliação utilizados, os elementos de input e output e também alguns conceitos básicos sobre os assuntos tratados.

#### 3.1. Enunciado do Problema

Transversalmente a quase todas as áreas, a tecnologia 3D é cada vez "mais e melhor".

Os efeitos a três dimensões são cada vez mais uma constante no nosso quotidiano, pelo que hoje em dia quando se pensa em representação, é quase um dado adquirido que envolve este tipo de tecnologia.

No dia-a-dia, a apresentação de um qualquer produto, serviço, ou solução, seja na área da medicina ou do entretenimento, é quase sempre efetuada recorrendo à modelação 3D.

Um dos produtos tradicionalmente produzidos nomeadamente com técnicas de Fotogrametria aérea do qual se deriva informação 3D tal como curvas de nível, perfis e volumes, é o Modelo Digital de Terreno (MDT).

Hoje em dia, as imagens adquiridas por UAV a uma muito alta resolução, aliadas ao desenvolvimento de sensores de dimensões reduzidas que podem ser transportados em mini UAV, e ao desenvolvimento de software na área de *Computer Vision* e de computadores/servidores com grande capacidade de cálculo e armazenamento, permitem a produção de modelos tridimensionais que quando se referem à superfície terrestre se designam por Modelos Digitais de Superfície (MDS). A diferença relativamente ao MDT é que estes possuem também os objetos que não pertencem ao terreno, tais como vegetação e edifícios. A sua rápida produção e fotorrealismo, quando são texturizados com as imagens ortoretificadas, têm permitido a sua utilização para outras aplicações que não as tradicionais. Obviamente, a referida rapidez depende, para além da resolução das imagens e da estação de trabalho utilizadas, do software de processamento, que condiciona também o seu fotorrealismo.

Sendo assim, este trabalho propõe-se a avaliar as diferenças, em termos de tempo de processamento, espaço em disco e fidelidade pictorial, existentes entre algumas soluções disponíveis no mercado para a sua produção, de forma a ser um instrumento de apoio à decisão para a aquisição das mesmas.

Outro produto que movimenta grandes volumes de negócio é o do cálculo de volumes em aterros/desaterros dos mais variados tipos. Tradicionalmente, estes volumes são calculados através de medições topográficas e/ou com GNSS que em geral demoram algum tempo a ser adquiridas e processadas não permitindo uma reconstrução minuciosa e exata do objeto a levantar, apesar da grande precisão das medições. Será que, um MDS produzido através de imagens adquiridas por UAV pode fornecer valores para o volume com uma exatidão

semelhante à da Topografia e a um custo menor? A resposta a esta questão é mais um propósito deste trabalho.

### **3.2. Objetivos**

Refletindo as considerações feitas em 3.1, na primeira parte desta dissertação pretende-se avaliar vários softwares, em termos de tempo de execução, qualidade pictorial e tamanho do modelo produzido, para geração de modelos tridimensionais a partir de imagens adquiridas por UAV e utilizados na promoção de propriedades, ou outras atividades que se encontrem na mesma linha de necessidades em termos de qualidade pictorial, e que permitam a sua manipulação 3D para fins visuais, de forma a proporcionar uma visão o mais realística possível. Os resultados permitirão aferir qual a melhor ferramenta de processamento para modelos 3D para visualização.

Outro objetivo desta dissertação é avaliar a qualidade de volumes calculados pela utilização de modelos tridimensionais produzidos, numa primeira abordagem, com imagens de sólidos regulares (esfera, cilindro e paralelepípedo) e depois com imagens adquiridos por UAV num aterro sanitário, comparando-os com os valores derivados de medições topográficas. Assim, e para este caso, o resultado permitirá verificar se a tecnologia UAV pode ser utilizada para medição de volumes, nomeadamente em trabalhos de monitorização de aterros sanitários.

### **3.3. Enquadramento**

Estes temas enquadram-se em projetos a desenvolver na Geolayer – Estudos de Território, Lda., nomeadamente o projeto “ROADMAP BCP BAIÃO”, que consiste na produção de um MDS para promoção de uma propriedade, com base em dados levantados com recurso a UAV, e posterior comparação e avaliação de resultados dos diferentes modelos gerados com recurso a vários softwares (Parte 1 da dissertação), e o projeto “FERROVIAL Aterro 16”, para cálculo de volumes e avaliação da sua qualidade, com base em dados do Aterro Sanitário do Planalto Beirão, levantados com recurso a UAV para posterior comparação com cálculo efetuado com base em Topografia, e dados de maquetes com volumes conhecidos (Parte 2 da dissertação).

Na Parte 1, a metodologia desenvolvida é também aplicada a imagens adquiridas por um UAV da parte urbana de Águeda, cenário bem diferente daquele de Baião, diversificando assim os cenários e permitindo tirar conclusões com mais retidão.

### 3.4. Conceitos Básicos

#### 3.4.1. Recolha da Informação

Hoje em dia, e cada vez mais, são utilizados sistemas "UAS", **Unmanned Aircraft System**, para aquisição de Geoinformação dado a ampla gama de vantagens que apresentam relativamente aos sistemas tradicionais. Contudo, adotaremos ao longo desta exposição a terminologia "UAV", por ser internacionalmente mais utilizada e reconhecida.

Também se verifica o surgimento de "RPAS", **Remotely-Piloted Aerial System**, que se poderá caracterizar como uma categoria dos sistemas "UAS", diferenciando-se destes pelo facto de ser pilotado por um técnico especializado em todas as fases do voo, ainda que de uma forma remota, ou seja, não existe nestes casos a possibilidade de serem sistemas completamente autónomos em termos de voo.

Contudo, estes termos não são ainda tão amplamente utilizados como o termo UAV, que se tornou parte do vocabulário moderno.

Nestes sistemas, do segmento aéreo fazem parte a estrutura mecânica que permite o voo (as asas, a fuselagem, etc.) e providencia espaço para os restantes componentes.

Esta estrutura pode assumir diferentes formas, muitas vezes diferentes do que é considerado normal para uma aeronave dado não ter de se sujeitar à obrigatoriedade de contemplar a presença de um ser humano a bordo. Fazem ainda parte deste segmento:

- o sistema eletromagnético que controla a aeronave;
- o piloto-automático;
- o sistema de posicionamento;
- o sistema inercial;
- e o altímetro.

No que diz respeito ao voo, é necessária a existência do sistema de alimentação e propulsão que pode variar entre sistemas que utilizam combustíveis, baterias, sistemas solares, e outros em estudo como por exemplo hidrogénio.

Finalmente, mas não menos importante temos o sistema de Telecomunicações, necessário para comando e controlo da aeronave, mas também para a receção de dados tanto dos instrumentos, bem como de dados de Telemetria. Existem já sistemas UAV RTK (*Real Time Kinematic*), o que se traduz como uma mais-valia uma vez que se torna cada vez mais usual a utilização deste método de levantamento de geoinformação.

Quanto ao segmento terrestre, poderemos afirmar que deste fazem parte as operações e equipamentos levados a cabo em ambiente terrestre, mas que se refletem e influenciam



todas as missões no seu todo, como por exemplo o plano de voo, que será determinado de forma a melhor servir os propósitos da missão tendo em conta os seus objetivos.

As imagens utilizadas neste trabalho foram adquiridas pelos UAV DJI Phantom 3 Professional, equipado com uma câmara FC300X, e o UAV eBee da SenseFly, equipado com uma câmara IXUS 127 HS (3.8).

### 3.4.2. Processamento

Tão importante como a recolha de imagens por sistemas UAV, o processamento das mesmas é um passo fundamental no desenvolvimento dos trabalhos. Desta forma, são utilizados softwares para processamento das imagens, para que possa ser possível extrair informação geográfica a partir de imagens aéreas adquiridas por estes sistemas. Regra geral, o processo base é transversal a todos os softwares existentes no mercado, com pequenas diferenças em termos de procedimentos e potencialidade dos algoritmos por eles utilizados, bem como os produtos finais por eles produzidos.

Assim, praticamente em todos os softwares é necessário importar as imagens recolhidas, bem como pontos de controlo (se aplicável), se forma a poderem ser processados.

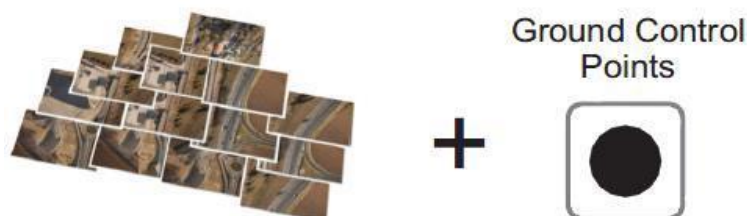


Figura 1 - Imagens conjugadas com pontos de controlo (Fonte: [www.3dsurvey.si](http://www.3dsurvey.si))

Dependendo da finalidade do trabalho, existem três produtos principais que podem ser produzidos através de processamento:

- Nuvens de Pontos, que se podem traduzir como um conjunto de pontos dos quais são conhecidas as suas coordenadas (X, Y e Z) num determinado referencial.



Figura 2 - Nuvem de Pontos (Fonte: [www.3dsurvey.si](http://www.3dsurvey.si))

- MDS, onde cada pixel terá uma altura que é representada pela coordenada Z, tornando possível modelar o terreno.
- MDT, sendo este um produto derivado do MDS, de onde são filtrados os objetos acima do solo, utilizado para representar os dados altimétricos (coordenada Z), sendo a partir dele gerado um produto bem conhecido por quem trabalha com Topografia que são as curvas de nível.



Figura 3 - MDT (Fonte: [www.3dsurvey.si](http://www.3dsurvey.si))

Para projetos com requisitos mais específicos, é ainda possível obter:

- Ortofotos, onde cada pixel da imagem possui coordenadas planimétricas conhecidas possibilitando a realização de medidas nesta imagem.
- Modelos 3D texturados, onde imagens ou outros atributos dos materiais são atribuídos às malhas, de forma a torná-las muito semelhantes à realidade.



Figura 4 - Modelo 3D Texturado (Fonte: [www.3dsurvey.si](http://www.3dsurvey.si))

- Volumes, através de cálculos simples e céleres, efetuados a áreas de aterro ou desaterro selecionando áreas de interesse nos MDT, podendo ainda estabelecer-se comparações entre duas ou mais medições consecutivas.
- Perfis, que se podem apresentar como cortes transversais verticais do terreno.

A seguir, alguns dos produtos acima listados serão apresentados mais detalhadamente.

#### 3.4.2.1. Nuvens de pontos

Nuvens de pontos são um conjunto de pontos com coordenadas conhecidas num dado referencial. A produção destes pontos pode ser efetuada de duas formas:

- Aquisição direta (Varrimento por Laser);
- Aquisição indireta (imagem, *matching*);

O significado de *image matching* ou, *structure from motion*, é extrair pontos-chave de duas ou mais imagens, e procurar os pontos correspondentes em cada uma. A comparação de pontos é baseada na semelhança dos descritores correspondentes. A obtenção de uma solução robusta para o problema da busca de pontos homólogos pode ser considerada como um elemento chave na automação das tarefas fotogramétricas (Schenk, 1999). Muitas das aplicações de Visão Computacional exigem a identificação de elementos repetitivos entre duas imagens.

Como exemplo de um algoritmo de *image matching* temos o SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), que é um algoritmo de visão computacional publicado por David Lowe, em 1999 e patenteado nos EUA pela University of British Columbia, que leva a cabo operações de *matching* sobre imagens.

### 3.4.2.2. Modelos tridimensionais (3D)

A definição de modelo 3D começa pela abreviatura da expressão 3 Dimensões ou Tridimensional.

Modelação 3D pode traduzir-se como a construção tridimensional de um objeto, o que permite vê-lo de vários ângulos e posições. Esta construção é feita através da criação de uma malha que recria as formas do objeto, podendo também a esta ser associada uma textura, entre outros efeitos, sendo este processo efetuado através de computação gráfica, recorrendo a software específico para o efeito.

Para além de objetos, esta técnica é amplamente utilizada para modelar superfícies, nomeadamente a superfície terrestre.

### 3.4.2.3. Cálculo de volumes

O volume não é mais do que quantidade de espaço que determinado corpo ocupa, pelo que se torna um cálculo transversal diversas áreas.

Assim, em matemática, para calcular o volume recorre-se a um integral triplo de uma função  $f(x,y,z)$  de um sólido finito, dividindo-o em pequenos cubos ou caixas imaginárias de volume  $\Delta V_k$ .

Procede-se então à soma de Riemann através da fórmula:  $\sum_{k=0}^n f(x_k, y_k, z_k) \Delta V_k$

repetindo o processo várias vezes de modo que  $n$  tenda para  $\infty$  e a altura, largura e comprimento das caixas imaginárias tendam para zero:

$$\iiint_G f(x, y, z) dV = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n f(x_k, y_k, z_k) \Delta V_k$$

Ou seja, para um sólido genérico, temos que o volume de uma região é:

$$V(G) = \iiint_G dV = \iiint_G dz dy dx$$

Já em Topografia, para cálculo de volumes poderemos salientar os seguintes métodos:

- Fórmula do prismoide simplificada
- Método Aproximado
- Método da Malha

No caso da Fórmula do prismoide simplificada,  $V = \frac{d}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2})$ , são consideradas 2 áreas A1 e A2 (exemplo na Figura 5), que devem encontrar-se em planos paralelos, e também ter um formato semelhante, para que a fórmula produza resultados com sucesso.

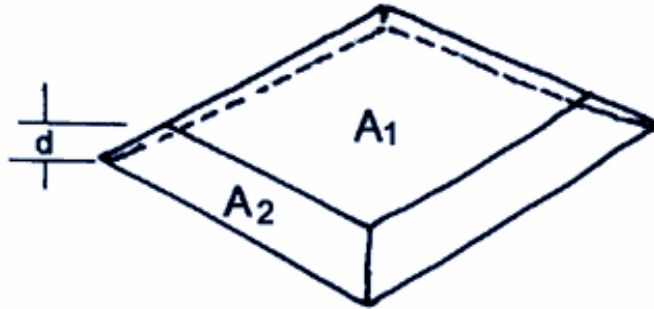


Figura 5 - Faces e Dimensões de Prismóide (Fonte:www.bvsde.paho.org)

Assim, e como normalmente em Topografia este tipo de cálculo incide sobre planos paralelos, é aceitável utilizar este método desde que se verifiquem estas condições.

Um exemplo muito claro em Topografia da aplicação deste método, é o cálculo de volumes entre curvas de nível, ilustradas na figura seguinte:

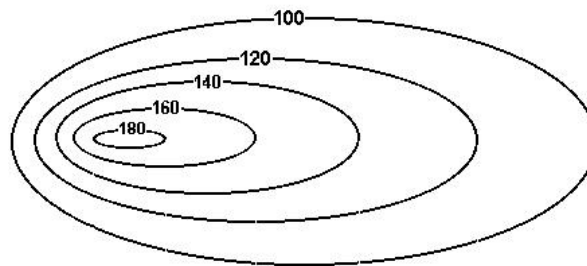


Figura 6 - Curvas de Nível (Fonte: www.cartografiaescolar.wordpress.com)

Já no caso do método aproximado, que consiste na decomposição do volume total em figuras geométricas simples (Figura 7), o mesmo calcula-se através da fórmula:

$$V = a * b * \left( \frac{h1 + h2 + h3 + h4}{4} \right)$$

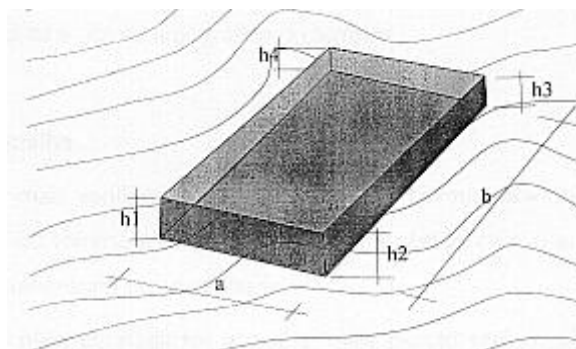


Figura 7 - Figura Geométrica Simples (Fonte: Topografia II - Aulas Teóricas. ESTGA (Ano letivo 2005/2006, Pereira, Z.)

Também neste caso, têm que ser verificadas algumas condições tais como a base ser plana e horizontal e as superfícies laterais serem planas e verticais.

Por fim temos o método da malha, que se baseia no anterior mas que produz resultados com mais rigor em superfícies irregulares, pois consiste em estabelecer uma malha sobre o terreno (Figura 8), e que se traduz pela fórmula:

$$V = \frac{d1 \cdot d2}{4} * (\sum V + 2 * \sum P + 4 * \sum i)$$

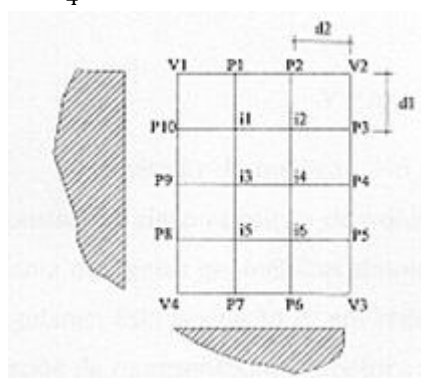


Figura 8 - Método da Malha (Fonte: Topografia II - Aulas Teóricas. ESTGA (Ano letivo 2005/2006, Pereira, Z.)

Ao nível do cálculo de volumes por software, é normal que os mesmos utilizem malhas triangulares e malhas retangulares para proceder a esses cálculos.

### 3.5. Recursos

Os recursos utilizados dizem respeito a hardware e software descritos em detalhes nas subsecções abaixo.

#### 3.5.1. Hardware

#### **3.5.1.1. Câmara Sony ILCE 7M2**

- Número de pixéis efetivos: 24,3 MP
- Sensor CMOS Exmor® full-frame de 35 mm (35,8 x 23,9 mm)
- ISO 50-25600

#### **3.5.1.2. Workstation para Processamento - Dell Precision T7810 CTO Base**

- Processador - Processador Intel® Xeon® E5-2623 v3 (4 núcleos, 3,0 GHz, 10 MB, 105 W)
- Memória - 32G 2133MHz DDR4 (4x8GB) RDIMM ECC
- Sistema Operativo - Windows 7 Professional (licença de Windows 8.1 de 64 bits, suporte de dados) - Inglês, espanhol, italiano, francês, português.
- Placa de Vídeo - NVIDIA® Quadro® K2200 dupla de 4 GB (2 DP, DL-DVI-I) (2 adaptadores de DP para SL-DVI)
- Unidade de Disco Rígido - SATA SSD de 2,5", 512 GB
- Configuração RAID de unidade de disco rígido interna - BOOT SATA/SSD C5 de 2,5", mais 1 unidade de disco rígido de 3,5"

#### **3.5.1.3. ESTAÇÃO TOTAL Nikon NPR 332**

- Precisão horizontal e vertical: 5"
- Precisão (modo preciso):  $\pm (3 + 2 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}$
- Medição Distância S7 Refletor: 1,5m a 300m
- Sensibilidade de nível da placa: 30"/2 mm
- Sensor de inclinação: Eixo único, compensação  $\pm 3'$

### **3.6. Software para Processamento**

#### **3.6.1. Agisoft**

Este é o primeiro software do mercado para processamento de dados provenientes de UAV. Ele é um software russo que já era utilizado para modelação 3D, sendo o foco do

software a Fotogrametria terrestre e a geração de modelos tridimensionais de prédios, estátuas, monumentos, etc.

Com o crescimento acelerado do mercado dos UAV, os responsáveis pelo desenvolvimento adaptaram este software de forma a processar imagens aéreas provenientes destes sistemas, com um algoritmo de *matching* baseado no SIFT. É capaz de processar milhares de imagens num curto espaço de tempo (o tempo será proporcional à capacidade do processador e placa de vídeo da *workstation*).

É indicado para quem inicia atividade no mercado de cartografia aéreo. Por ser bastante intuitivo, oferece um *workflow* simples e muito eficiente, sendo o elemento de destaque do software o algoritmo de processamento (busca dos pontos homólogos), que consegue gerar os produtos finais mesmo com um voo de qualidade inferior.

O valor de aquisição deste software, menos de 3000 € para a versão Pro, leva a que possa ser considerado um produto low-cost.

### **3.6.2. Pix4D**

O Pix4d Mapper Pro é um software suíço que tem criado muitos adeptos, sendo um dos principais motivos o facto de este software receber diversas atualizações, sendo lançadas novas funções com bastante frequência. Outro ponto forte são as soluções específicas para nichos de mercados como por exemplo minas, agricultura de precisão, meio ambiente, construção civil, arqueologia.

O Pix4d também é indicado para utilizadores que estão a iniciar atividade. Este é um software indicado para quem quer começar num nicho específico e que posteriormente irá migrar para outros nichos sem ter que trocar de software.

A versão PRO deste software pode ser adquirido por cerca de 6500 €, com possibilidade de aluguer por 260 € (1 mês) e 2600 € (ano).

### **3.6.3. 3DSurvey**

O 3DSurvey é um software esloveno, com distribuidores em países do centro da europa bem como da europa de leste, que tem criado muitos adeptos por ser rápido, fiável e *user-friendly*, segundo comentários de utilizadores. Outro ponto forte é o facto de a empresa que o desenvolveu ter como parceira, uma empresa de desenvolvimento de sistemas UAV.



O 3D Survey é indicado para todo o tipo de utilizadores, desde profissionais a docentes e estudantes da área de Geoengenharia.

No que diz respeito ao preço, este software tem um custo de 3000€ por uma versão *Stand-Alone*.

#### **3.6.4. MDT Standard Software**

O MDT não é mais do que uma aplicação técnica que corre sobre o AutoCad da Autodesk, para projetos de Topografia, Engenharia Civil e Modelação 3D. As aplicações MDT, encontram-se disponíveis em duas versões - MDT Standard e MDT Profissional e num módulo suplementar “MDT módulo Topografia”.

MDT Standard é apropriado para a realização de todo o tipo de projetos de Topografia, perfis de terreno, cálculos de volumes, superfícies, geração de curvas de nível, alinhamentos de terreno, perfis longitudinais e transversais, visualização 3D, etc.

Os seus principais destinatários são administrações públicas, institutos, empresas construtoras, gabinetes de engenharia e de topografia, empresas dedicadas a movimentações de terra e escavações, oceanografia, minas, meio ambiente, assim como profissionais independentes.

### **3.7. Critérios para Avaliação**

Para que se possa estabelecer a comparação e avaliação da qualidade dos modelos digitais de superfície obtidos através de imagens obtidas a partir dos sistemas UAV, e processadas em diferentes softwares, foram estabelecidos como critérios de análise:

- Qualidade realística do modelo, traduzida pela apresentação nítida do mais pequeno pormenor.
- Tempo de execução, que traduzirá o tempo de processamento que o software necessita para gerar o modelo.
- Tamanho, que se traduz como o espaço que o modelo ocupa num disco.

No que diz respeito à comparação e avaliação de volumes estimados a partir de MDT criados recorrendo a dados provenientes de sistemas UAV, e volumes estimados a partir de dados recolhidos através de métodos tradicionais, foi selecionado como critério de avaliação a diferença de volume entre os dois métodos.

### **3.8. Input e Output**

Para a realização dos trabalhos apresentados nesta dissertação foram utilizados dados de input, sobre os quais foi feito processamento, resultando em informação de output em variados formatos.

Assim, como input e output desta dissertação poderemos enumerar:

#### **3.8.1. Parte 1 - Modelos de Águeda e Baião**

##### **Input**

- Imagens Aéreas da área a modelar e de pormenor da edificação adquiridas recorrendo ao sistema UAV DJI Phantom 3 Professional equipado com uma câmara FC300X no caso de Baião, no formato .jpg de 24 bits por pixel, com uma distância focal de 4 mm, ISO 100, e com 4000x3000 pixéis. Na zona de Águeda foi utilizado o sistema eBee - SenseFly, equipado com uma câmara IXUS 127 HS para recolher imagens também no formato .jpg de 24 bits por pixel, com uma distância focal de 4mm, ISO 100, e com 4608x3456 pixéis.

##### **Output**

- Nuvem Pontos;
- Modelo 3D (*Tiled Model*)

#### **3.8.2. Parte 2 - Topografia das Maquetes**

##### **Input**

- Levantamento topográfico de 3 objetos diferentes (Figura 9) que se pretendia que representassem um paralelepípedo, uma esfera e um cilindro, tendo a escolha recaído sobre uma bola de praia insuflável, uma caixa de cartão de formato retangular, e um caixote de lixo de forma cilíndrica, tendo a escolha dos mesmos sido baseada na necessidade de ter formatos diferentes para uma gama de resultados mais abrangente.



Figura 9 - Objetos selecionados para maquetes

- Coordenadas locais X,Y,Z de pontos dos objetos;
- Medições à fita das dimensões dos objetos.

#### Output

- Volumes.

### 3.8.3. Parte 2 - Modelos 3D das Maquetes

#### Input

- Imagens de pormenor e de enquadramento dos 3 objetos adquiridas por uma câmara Sony ILCE-7M2, no formato .jpg de 24 bits por pixel, com uma distância focal de 28 mm, ISO 100 e com 6000x3376 pixéis.

#### Output

- Nuvens de pontos;
- Modelo 3D;
- Volumes.

### **3.8.4. Parte 2 - Topografia do Aterro Sanitário**

#### **Input**

- Coordenadas (no sistema ETRS89/PT-TM06) de pontos de cota e todas as linhas de quebra, bem como o limite das células de acumulação de lixo.
- superfície inicial (com as células de lixo vazias), criada no início dos trabalhos de monitorização no ano de 2006 e usada sempre como superfície de referência durante todas as campanhas

#### **Output**

- Volume.

### **3.8.5. Parte 2 - Modelos 3D do Aterro Sanitário**

#### **Input**

- Imagens Aéreas da área a modelar, adquiridas recorrendo a sistema UAV desenvolvido pela empresa Sleeklab, Lda e a uma câmara Canon PowerShot S110 sendo que nos voos 1 e 2 as imagens foram recolhidas no formato .jpg de 24 bits por pixel, com uma distância focal de 5 mm, ISO 400 e 200 respetivamente, e têm 2992x2992 pixéis. Nos voos 3, 4 e 5, as imagens foram recolhidas no formato .jpg de 24 bits por pixel, com uma distância focal de 5 mm, ISO 200, e têm 4000x3000 pixéis.
- Coordenadas de pontos de controlo no sistema ETRS89/PT-TM06.

#### **Output**

- Nuvens de pontos;
- Modelo 3D;
- Volume.

## **4. METODOLOGIA**

Neste capítulo e secções seguintes, será apresentada a metodologia para a implementação de todos os testes e procedimentos efetuados.

### **4.1. Metodologia para Comparação de Modelos Tridimensionais Gerados em Vários Softwares**

A metodologia concernente à comparação de modelos 3D gerados por software diverso consistiu em cinco fases:

- 1- Estabelecimento de critérios para a escolha de imagens existentes adquiridas por UAV e escolha dessas imagens.
- 2- Estabelecimento de critérios para a seleção do software para produção de nuvens de pontos e escolha desse software.
- 3- Identificação dos parâmetros comuns para a produção da nuvem de pontos nos diversos softwares escolhidos e seleção dos seus valores.
- 4- Produção da nuvem de pontos, com registo do tempo de execução e tamanho em disco.
- 5- Comparação e análise de resultados.

Na **fase um** são, primeiro, estabelecidos os critérios para a seleção de imagens existentes adquiridas por UAV. De forma a atingir os objetivos da comparação dos modelos 3D gerados por software diverso descritos na secção 3.2, convém utilizar imagens de alta resolução de áreas com complexidades diferentes. Assim, foram selecionadas imagens existentes que se enquadravam o mais possível dentro destes requisitos. Essas imagens concernem duas zonas distintas, nomeadamente da localidade de Ancede, no concelho de Baião, e da zona histórica da cidade de Águeda cujas características se encontram na subsecção 3.8.1.

O levantamento de imagens em Baião foi efetuado ao longo de uma encosta do rio Douro, ao lado da linha ferroviária (Linha do Douro), numa zona com relevo extremamente acidentado, apresentando grandes diferenças de cota e coberta por uma densa vegetação com indícios de falta de práticas fitossanitárias, existindo contudo algumas construções nas imediações.

Já na zona de Águeda, a área de interesse é totalmente contrastante com a anterior, uma vez que se situa no centro histórico da cidade, em zona urbana junto ao rio que atravessa a cidade a qual lhe confere o nome, caracterizada pela tendência para a ocorrência de cheias, sendo a topografia do terreno plana, sem grandes declives.

Na **segunda fase** são estabelecidos os critérios para a seleção do software a avaliar assim como a seleção do software de acordo com os critérios estabelecidos. Esses critérios dizem respeito ao preço do software, e portanto à sua fácil aquisição, à sua penetração no mercado e à sua fácil utilização. Assim, escolha caiu sobre os softwares:

- PhotoScan da Agisoft, que é um software bastante intuitivo, e também económico sendo mesmo considerado *low-cost*;
- Pix4Dmapper da Pix4D, por ser bastante conhecido no mercado e também por receber diversas atualizações, sendo lançadas novas funções com bastante frequência;

- e 3D Survey da Modri Planet, por estar dentro de uma gama de preços acessível, quando apreciado na feira "INTERGEO" de 2015, em Estugarda, e sugerido pelo CEO da Geolayer para este trabalho;

A **fase três** diz respeito à identificação dos parâmetros comuns na produção da nuvem de pontos e seleção dos seus valores. Este tipo de softwares, que por regra possuem *workflows* semelhantes, normalmente seguem as seguintes etapas principais de processamento:

- carregamento de fotografias;
- alinhamento das fotografias;
- geração da nuvem de pontos;
- construção da *Mesh* (malha);
- geração de textura;
- geração dos MDT e MDS
- criação do ortomosaico
- exportação

Nestas diferentes etapas foi necessário definir inúmeros parâmetros relacionados com precisão, exatidão, quantidade de informação de input, tipo e qualidade dos produtos resultantes, entre outros. Foi também decidido que as imagens processadas pelos softwares fossem rigorosamente as mesmas.

Em seguida, na **fase quatro**, foram geradas as nuvens de pontos, utilizando os parâmetros acima descritos, nos diferentes softwares, tendo sido efetuado o registo dos tempos de execução e do tamanho ocupado em disco por cada um dos modelos.

Na fase final foi efetuada a comparação dos modelos gerados nos vários softwares tendo em conta os seguintes critérios já descritos anteriormente na secção 3.7 desta dissertação:

- ✓ tempos de execução;
- ✓ qualidade realística dos modelos;
- ✓ tamanho em disco dos modelos.

No fluxograma apresentado a seguir, encontra-se descrito todo o processo efetuado para a escolha do software, onde se podem ver imagens de algumas das fases realizadas:

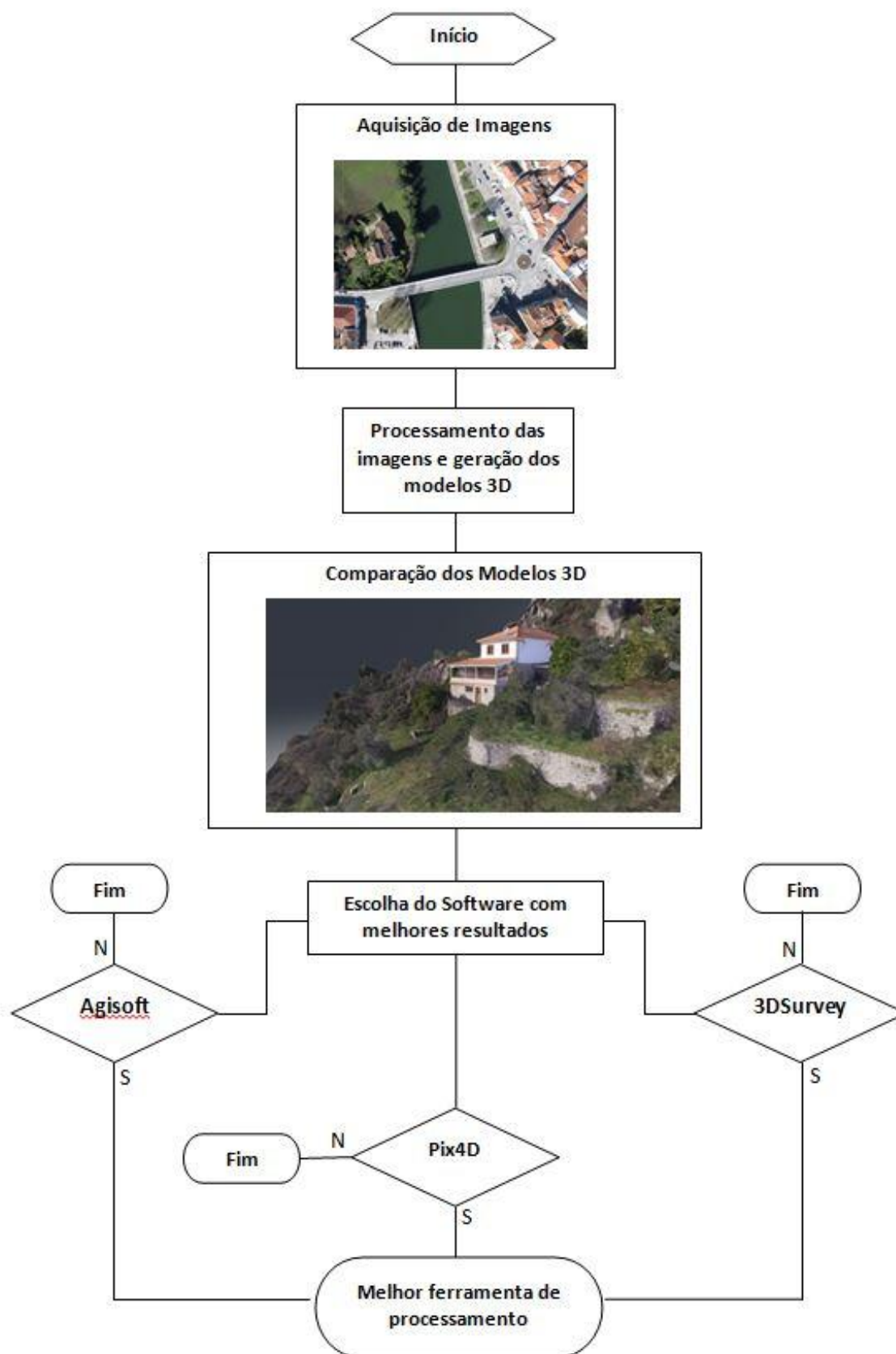


Figura 10 - Fluxograma da Metodologia para Comparação de Modelos Tridimensionais Gerados em Vários Softwares

## **4.2. Metodologia para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Topografia e Modelos Tridimensionais**

### **4.2.1. Maquetes**

No que diz respeito à avaliação de volumes calculados a partir de modelos tridimensionais de objetos (maquetes), este processo resumiu-se a 7 fases:

- 1- Seleção da forma das maquetes.
- 2- Levantamento Topográfico, Medições à fita das dimensões dos objetos e Aquisição de Imagens.
- 3- Processamento de dados e cálculo de volumes recorrendo à Topografia.
- 4- Cálculo de volumes recorrendo a métodos tradicionais (fórmulas conhecidas de cálculo de volumes).
- 5- Produção de nuvens de pontos e produção de TIN.
- 6- Cálculo de volumes recorrendo aos modelos tridimensionais.
- 7- Comparação e análise de resultados.

Na **primeira fase** foi efetuada a escolha dos objetos que serviram de maquetes, e que se baseou na intenção de utilizar objetos bastante diferentes entre si, e com formas aproximadas a sólidos geométricos simples de forma a poderem ser utilizadas fórmulas conhecidas de cálculo de volumes para posterior controlo de resultados, e deteção de erros grosseiros.

Depois de efetuada esta seleção, na **segunda fase** foram efetuados levantamentos com recurso a Topografia de três objetos considerados como "maquetes": uma bola de plástico insuflável, uma caixa de cartão retangular e um caixote metálico cilíndrico (3.8.2).

Foram levantados vários pontos em cada objeto, escolhidos tendo em atenção o seu formato, tendo também sido adquiridas as coordenadas dos pontos de controlo (quatro cantos da mesa da suporte aos objetos), de forma a poderem ser utilizadas na referênciação dos modelos.

As maquetes foram também alvo de medição "física" efetuada a partir de fita métrica utilizada em trabalhos de Topografia, bem como fio de cordel para o caso da bola insuflável, tendo sido efetuadas três medições em cada uma das maquetes de forma a poder ser estabelecida uma média dos valores. Estas medições foram efetuadas somente com o intuito de se controlar erros grosseiros.

Depois de efetuados os trabalhos de topografia e medições físicas dos objetos, procedeu-se à aquisição das imagens consideradas necessárias para atingir o objetivo do trabalho. A sua aquisição careceu de alguns cuidados, nomeadamente no que diz respeito:



- à sobreposição das imagens para garantir uma cobertura integral do objeto, de forma a colmatar áreas sem informação;
- ao ângulo da câmara, tentando-se recolher imagens em vários ângulos dos objetos, para uma melhor modelação;
- à forma de recolha das imagens, dado não ser um cenário de aquisição de imagem aérea;
- à recolha de imagens de pontos de controlo;
- ao tamanho do pixel, que se encontra diretamente relacionado com a resolução espacial da imagem;
- e à distancia focal, de forma a minimizar as distorções nas imagens, uma vez que todos estes parâmetros influenciam a qualidade das imagens e consequentemente a qualidade dos modelos tridimensionais resultantes.

Foram também tidos em conta os conselhos existentes na literatura no que diz respeito à forma de captura das imagens, exemplificada na Figura 11.

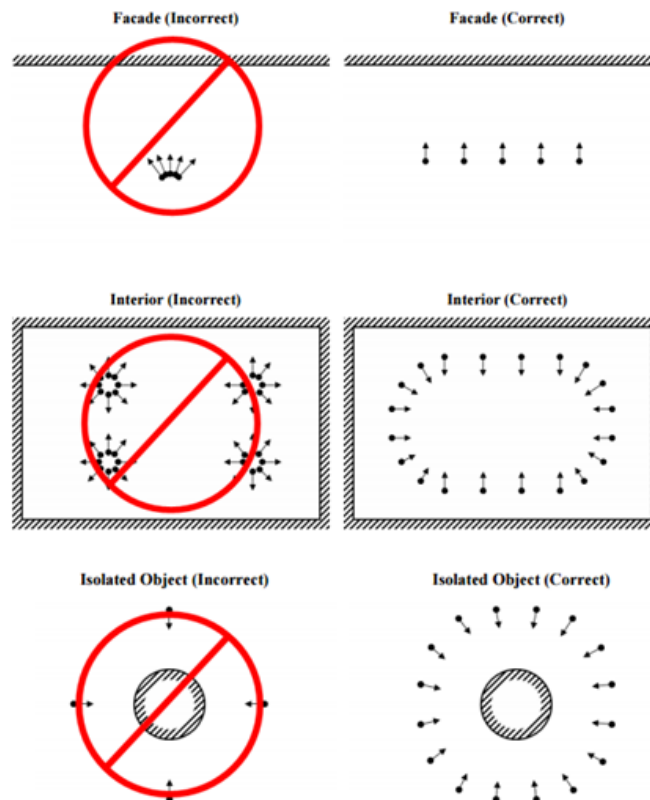


Figura 11 - Formas (corretas e incorretas) de aquisição de imagens para fins de modelação 3D

Numa fase seguinte, a **fase três**, foram utilizadas as medições feitas à fita nos cálculos do volume de cada uma das maquetes, recorrendo às seguintes fórmulas conhecidas de cálculo de volumes:

- Volume caixa= Comprimento x Largura x Altura (cm);
- Volume bola =  $\frac{4\pi r^3}{3}$ ;
- e Volume cilindro =  $h * \pi r^2$ .

Na **fase quatro**, utilizando a informação recolhida no levantamento topográfico, procedeu-se ao cálculo dos volumes das maquetes recorrendo a software CAD com ferramenta própria para o efeito, ferramenta esta que se baseia numa TIN.

Contudo, após análise e processamento da informação resultante do levantamento realizado, verificou-se que essa informação não era suficiente para que pudesse ser utilizado este método.

Por esta razão, para cálculo do volume das maquetes foram criados sólidos "primitivos" (básicos), utilizando a informação levantada, e recorrendo a ferramentas de criação de sólidos e cálculo dos respetivos volumes.

Na **quinta fase**, para a produção das nuvens de pontos de cada uma das maquetes, foi utilizado o software selecionado como sendo o melhor, e foram também escolhidos e estabelecidos os parâmetros necessários à geração das nuvens de pontos para posterior produção da TIN, utilizada na criação do modelo tridimensional.

Foi sobre esta TIN que na fase seguinte, na **sexta fase**, foi efetuado o cálculo do volume das maquetes, recorrendo à ferramenta existente no próprio software para este efeito, depois de efetuado tratamento aos modelos ao nível da eliminação de informação sem interesse tal como a superfície da mesa utilizada como base, paredes, entre outros, e tratamento de zonas sem informação (fecho de "buracos").

Por último, na **fase sete** foi efetuada a análise dos valores resultantes dos volumes das maquetes, e estabelecidas as comparações, o que permite concluir se o cálculo de volumes usando informação de imagens UAV é uma boa alternativa à Topografia, terminando assim o processo descrito pelo *workflow* apresentado na figura seguinte e no qual está representado um dos objetos utilizado como maquete:

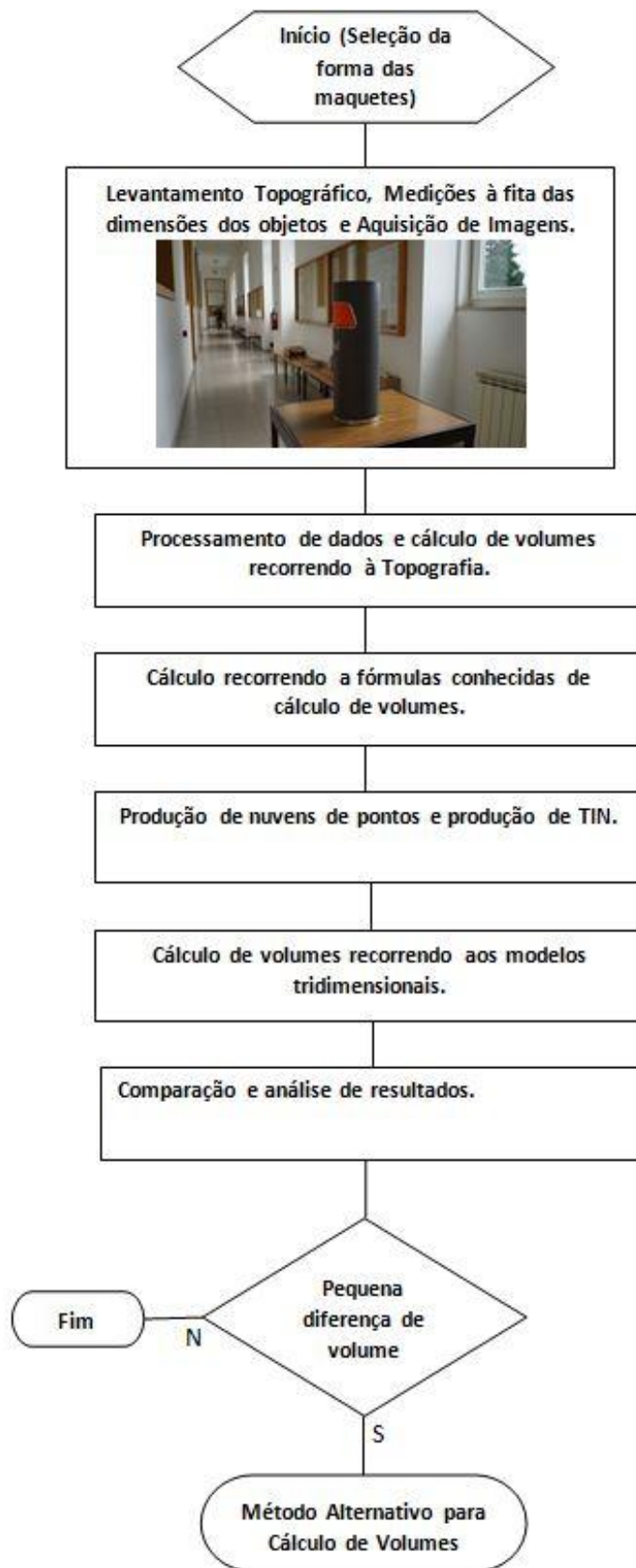


Figura 12 - Fluxograma da Metodologia para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Topografia e Modelos Tridimensionais de Maquetes

#### **4.2.2. Aterro Sanitário**

Ao longo dos anos, em substituição das lixeiras ditas tradicionais, foram pensados e criados os aterros sanitários controlados, caracterizados pela forma de acondicionamento dos lixos em células e alvéolos, que vão sendo cheios e posteriormente selados até ao limite máximo permitido pelas características da própria estrutura.

Para monitorização dos volumes de ocupação destes aterros são efetuadas campanhas (normalmente anuais), para que se possa controlar e prever o fim de vida dos mesmos. Esta monitorização é normalmente efetuada recorrendo a dados provenientes de levantamento topográfico. Mas, com o intuito de se reduzir os custos associados a estas técnicas tradicionais, considerou-se efetuar o mesmo trabalho mas recorrendo a imagens adquiridas por UAV. Todavia, é necessário avaliar o novo procedimento de forma a se aferir se os resultados são comparáveis com aqueles obtidos por meios topográficos. Assim, para o caso do aterro sanitário do planalto Beirão, já anteriormente referido na secção 3.3, o volume calculado a partir imagens de UAV é comparado com aquele obtido com informação resultante de Topografia.

Inicialmente, e no âmbito do projeto anual de monitorização deste aterro por parte da Geolayer, para o cálculo do volume recorrendo a dados de topografia, foi efetuado levantamento topográfico de informação, que foi depois processada em software próprio para o efeito (3.6), seguindo as fases de processo:

- 1- Importação dos dados para o software Autocad com a aplicação MDT v6
- 2- Criação de Superfície
- 3- Geração da Malha
- 4- Cálculo do volume por diferença de malhas (malha resultante dos dados do ano em causa e malha resultante de dados iniciais com células de acumulação de lixo vazias).

De uma forma geral tendo em atenção que esta parte do trabalho foi efetuada no âmbito de uma projeto realizado pela Geolayer, conforme já descrito anteriormente, para o cálculo do volume do aterro utilizando dados provenientes de levantamento topográfico, foram recolhidos bastantes pontos de cota e todas as linhas de quebra, bem como o limite das células, usando o procedimento já bem conhecido para este fim. De seguida foi calculado o volume de ocupação do mesmo efetuando:

- importação dos dados processados para o Autocad com a aplicação MDT v6 para geração de superfície e malha (fases 2 e 3).
- utilizando uma superfície inicial (com as células de lixo vazias), criada no início dos trabalhos de monitorização no ano de 2006 e usada sempre como superfície de referência durante todas as campanhas, calculou-se o volume de aterro através da

diferença de malhas, subtraindo à mesma a resultante do levantamento da campanha realizada em 2016 (fase 4).

Quanto ao cálculo do volume utilizando imagens UAV, foi utilizado o mesmo método e o mesmo software usados para o cálculo de volume com os dados topográficos de forma a centrar os desvios apenas no tipo de dados de entrada. A metodologia para este procedimento e a sua implementação resumem-se em 5 fases:

- 1- Produção de nuvem de pontos no Agisoft
- 2- Importação da nuvem para o software Autocad com a aplicação MDT v6
- 3- Criação de superfície utilizando informação da nuvem
- 4- Geração da malha
- 5- Cálculo do volume por diferença de malhas (malha resultante dos dados do ano em causa e malha resultante de dados iniciais com células de acumulação de lixo vazias).

Por fim foi efetuada uma análise e comparação dos resultados das duas técnicas, calculando a diferença de volumes entre as mesmas.

Na **primeira fase**, para a produção de nuvens de pontos, foi mais uma vez utilizado o software tido como o melhor, bem como estabelecidos os respetivos parâmetros de criação da nuvem, sendo com base nos resultados deste processamento que na **fase dois e três** se procedeu à importação da nuvem e criação de uma superfície no módulo de software MDT.

Ainda na fase final da produção da nuvem de pontos, esta é "limpa" para que apenas permaneça a área de interesse a ser calculada, sendo eliminadas zonas adjacentes à área de interesse. Deveriam também ser removidos os objetos existentes no modelo que não interessam para o cálculo do volume, como por exemplo os pneus normalmente existentes nos aterros sanitários para proteção das telas aplicadas sobre os taludes. Contudo, não foi possível realizar esta tarefa dado que, de forma a rentabilizar o tempo, seria necessário o desenvolvimento de um algoritmo específico, o que não estava dentro do âmbito desta dissertação.

Foi com base nesta superfície que, na **quarta fase** se procedeu à geração da malha, que foi utilizada na **quinta fase** para o cálculo do volume através da diferença entre esta e a malha de referência, ou seja a malha resultante do estado inicial do aterro, sem lixo nas células de acumulação.

Por fim, na fase final de todo este processo descrito pelo respetivo *workflow* apresentado na Figura 13, e que contém algumas imagens do trabalho, foram analisados os resultados e estabelecidas comparações dos volumes calculados através dos dois métodos, levantamento topográfico e levantamento fotogramétrico com imagens UAV, o que

permitirá concluir se o cálculo de volumes usando informação de imagens UAV é uma boa alternativa aos métodos tradicionais.

Esta comparação é estabelecida efetuando a diferença entre o volume calculado pelas duas técnicas, e calculando que percentagem do valor total é que a mesma representa, a qual servirá como um dos principais fatores de base à tomada de decisão em utilizar novas tecnologias para a monitorização de aterros sanitários, uma vez que, conforme já referido anteriormente, envolvem baixos custos.



Figura 13 - Fluxograma da Metodologia para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Topografia e Modelos Tridimensionais de Aterro Sanitário

## 5. IMPLEMENTAÇÃO, PROCEDIMENTOS E TESTES

Neste capítulo são descritos todos os procedimentos, testes e tentativas que foram efetuados na perspectiva de atingir os objetivos desta dissertação.

### 5.1. Implementação para Comparação de Modelos Tridimensionais Gerados em Vários Softwares de Baião e Águeda

As imagens da zona de Baião utilizadas na avaliação dos vários softwares, já acima referidos, em termos de tempos de execução, qualidade dos modelos em termos visuais, tamanho final do modelo tridimensional e preço, foram adquiridas com recurso a sistema UAV numa encosta do rio Douro, na localidade de Ancede (Figura 14).

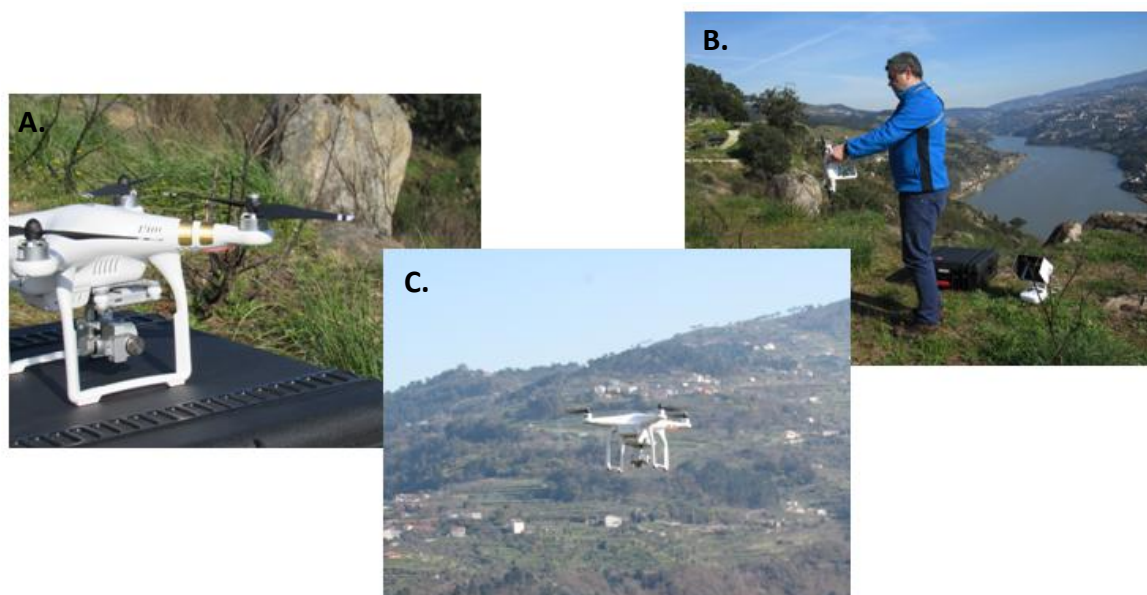


Figura 14 - Aquisição de Imagens UAV (Baião). A. UAV utilizado; B. Fase de Preparação; C. UAV em pleno voo

Neste levantamento:

- Foi utilizado um sistema UAV de asa rotativa, modelo UAV - DJI Phantom 3 Professional, equipado com uma câmara FC300X, conforme indicado na secção 3.8.1;
- Realizaram-se 2 voos de levantamento da área em questão, com cerca de 18 minutos cada, para obtenção de mais imagens dando consequentemente mais consistência à cobertura de forma a não existirem zonas sem cobertura;



- As imagens foram recolhidas durante o dia, em condições de boa luminosidade e sem nuvens;
- Foram adquiridas 249 imagens, tiradas em 4 fiadas, com a camara posicionada num ângulo de 45 graus relativamente à encosta;
- Foram recolhidas fotos de enquadramento e também de pormenor da casa existente para melhor pormenorização do modelo.

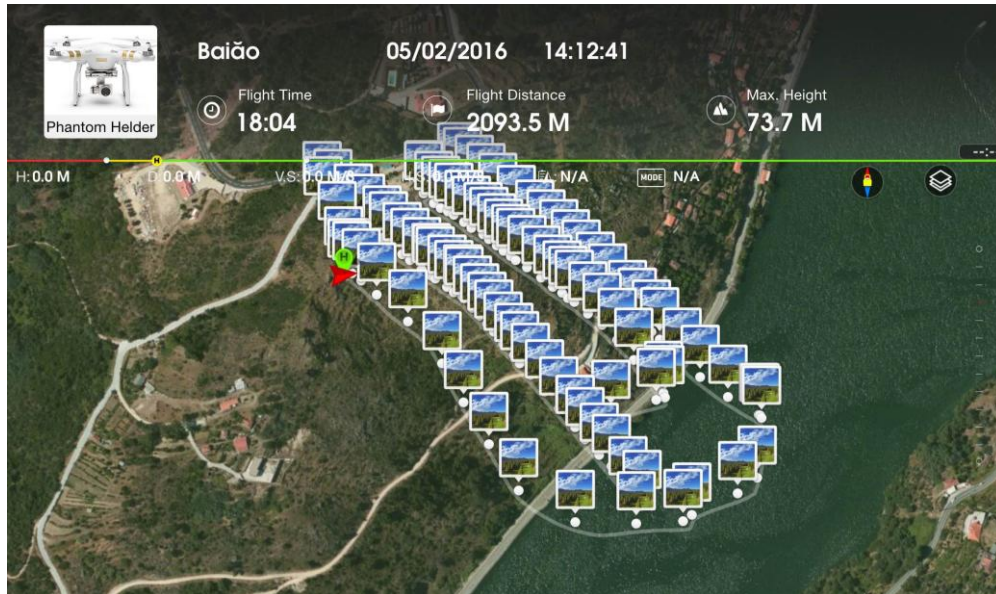


Figura 15 - Esquema de voo da aquisição de imagens UAV de Baião

Para este trabalho foram também colocados vários pontos de controlo ao longo da área a levantar, contudo, devido a falha de comunicação com o operador do equipamento UAV, alguns destes não puderam ser recolhidos, uma vez que o voo foi iniciado antes da colocação destes mesmos pontos. Nos restantes, verificou-se que a cor utilizada (azul claro, ver Figura 16) não é a mais adequada para as condições do terreno em questão. Por estas razões, e dado que a finalidade do trabalho não requeria grande precisão geométrica, foi decidido não utilizar pontos de controlo no processamento destas imagens.



Figura 16 - Ponto de controlo para aquisição de imagens UAV de Baião

As imagens de Águeda foram adquiridas por uma empresa externa, com a finalidade de elaboração de estudos sobre cheias, e fornecidas para os fins académicos desta dissertação. Neste levantamento:

- Foi utilizado um sistema UAV de asa Fixa, o modelo eBee da SenseFly, equipado com uma câmara Canon IXUS 127 HS, conforme indicado na secção 3.8.1;
- As imagens foram recolhidas durante o dia, em condições de boa luminosidade e sem nuvens;
- Foram adquiridas 240 imagens, tiradas em 5x11 fiadas, com a camara sempre na horizontal relativamente ao terreno;

As imagens foram processadas e gerados os modelos 3D da propriedade em Baião e da zona Histórica de Águeda, recorrendo a três softwares diferentes, nomeadamente o PhotoScan da Agisoft, o Pix4Dmapper da Pix4D e o 3D Survey da Modri Planet.

No processamento nos diferentes softwares foram utilizadas as mesmas imagens e também sempre que possível as mesmas definições, de forma a uniformizar os parâmetros de entrada utilizados.

#### **5.1.1. Modelos de Baião e Águeda gerados no PhtoScan da Agisoft**

Para a criação do modelo de Baião, foram analisadas as 249 imagens adquiridas, optando-se por utilizar inicialmente a sua totalidade por se achar que todas tinham qualidade e interesse para a obtenção de melhores resultados do modelo final. Não existiam imagens desfocadas ou com falta ou excesso de luminosidade, entre outros problemas que normalmente se encontram neste tipo de dados. Foi efetuada a mesma análise e validação para as 240 imagens da zona de Águeda.

Contudo, aquando da construção da *mesh*, verificou-se que a estação de trabalho não possuía memória suficiente para o processamento de nenhuma das zonas em causa. Consequentemente, foram seleccionadas as imagens necessárias para processar apenas uma parte da área inicial.

No caso de Baião, dado a finalidade do trabalho incidir sobre a promoção de propriedade, foi feita uma seleção das imagens que cobriam toda essa área pertencente à propriedade (edifício e terreno), resultando num total de 117.

Para a zona de Águeda, foi decidido fazer incidir o modelo apenas na zona contígua à margem direita do rio Águeda (Rua 5 de Outubro), o que totalizou 119 imagens. Foram criados dois projetos para cada uma das áreas a modelar, e não foram utilizados quaisquer pontos de controlo. Os procedimentos para a criação dos modelos foram os seguintes:

- **Carregamento das imagens**

Depois de criado o projeto, e para a criação dos modelos 3D de Águeda e Baião procedeu-se então à adição das imagens selecionadas ao software, que, conforme já abordado anteriormente, é a primeira operação do *workflow* de todos os softwares deste tipo.

- **Alinhamento**

O segundo passo depois de carregar as imagens foi efetuar o seu alinhamento, sendo nesta fase que o PhotoScan melhora a posição da câmara para cada fotografia e constrói a nuvem de pontos "base", a partir da qual será gerada a nuvem de pontos definitiva (mais densa).

Os valores dos parâmetros utilizados nesta fase foram, tanto quanto possível, os recomendados, e que são:

- ✓ *Accuracy: High*, pois quanto maior, mais precisa é a posição da câmara. A escolha de uma precisão mais baixa deve ser usada quando se pretende obter a posição da câmara de uma forma mais expedita;
- ✓ *Pair preselection: Disabled*, para processar de forma mais rápida um grande número de imagens;
- ✓ *Constrain features by mask: Disabled*, uma vez que a área era estática durante o levantamento;
- ✓ *Key point limit: 40000* (por ser o valor recomendado);
- ✓ *Tie point limit: 4000*;

- **Nuvem de Pontos**

O Photoscan permite a geração e visualização de nuvens de pontos.

Assim, depois de efetuado o alinhamento das imagens foram geradas as nuvens de pontos, tendo mais uma vez em atenção os parâmetros recomendados:

- ✓ *Quality: Ultra High*, uma vez que os objetivos dos modelos se prendem com qualidade realística, e consequentemente com mais detalhe. Contudo, quanto maior a qualidade da nuvem, mais e melhores recursos a nível computacional são necessários.
- ✓ *Depth filtering: Aggressive* (por ser o recomendado para fotografia aérea em zonas com pequenos elementos sem importância).

- ***Tiled Model***

Apesar de se ter reduzido o número de imagens, a estação de trabalho não permitiu a geração da *mesh* de toda a área por motivos de memória insuficiente, tendo sido por essa razão decidido criar *Tiled Model*, dado serem adequados para modelação 3D de grandes áreas com elevada qualidade final dos modelos.

Nesta fase foram então definidos para parâmetros do modelo:

- √ *Pixel Size*: 0,0473159 por se tratar do tamanho do pixel estimado e sugerido;
- √ *Tile size*: 1024 (por ser o valor sugerido);



Figura 17 - Modelo 3D de Águeda gerado no PhtoScan da Agisoft

### 5.1.2. Modelos de Baião e Águeda gerados no Pix4Dmapper da Pix4D

Para a criação dos modelos 3D foram criados dois projetos, onde não foram utilizados pontos de controlo. Os procedimentos para a criação dos modelos foram os seguintes:

- **Carregamento das imagens**

Também neste software, a fase inicial do processo passa pelo carregamento das imagens a utilizar. Foram então carregadas as imagens seleccionadas para cada uma das zonas.

- **Propriedades das imagens**

De seguida, é apresentada uma lista das imagens bem como algumas das suas propriedades, nomeadamente o sistema de coordenadas (de input e output) e o modelo da câmara utilizada. Nesta fase podem aqui ser alteradas estas definições, bem como optar pela exclusão de algumas das fotografias.

Foram utilizadas as definições por defeito por serem as estimadas (de acordo com a informação das fotografias), bem como utilizadas todas as fotografias carregadas inicialmente.

- ***Template a utilizar***

De seguida, o Pix4D apresenta os diferentes tipos de output possíveis, de onde foi escolhido:

√ *3D Maps*: por gerar modelos 3D para as mais variadas aplicações. Tem como dados de input imagens aéreas com grande sobreposição, e como output *3D Mesh*, MDS, Nuvens de pontos e ortomosaicos;

- **Processamento Inicial**

Depois de criado o projeto, deu-se início à fase de processamento, começando por um processamento inicial que envolve operações ao nível do alinhamento das imagens, melhoramento da posição da câmara, operações de *matching*, entre outras, de acordo com as seguintes definições:

√ *Keypoints Image Scale: Full*, para melhores resultados do modelo.  
√ *Quality Report: Generate Orthomosaic Preview in Quality Report*

- **Nuvem de Pontos e Mesh 3D Texturada**

Após o processamento inicial, procedeu-se à geração da nuvem de pontos e da *mesh* com textura, tendo sido escolhidas as definições que permitiram uma melhor qualidade da nuvem de pontos bem como da *mesh*:

√ *Point Cloud - Image Scale: Multiscale 1 (Original image size, Slow)*  
*Point Density - High (Slow)*  
*Minimum Number of Matches - 6*  
*Export - LAS*



√ *3D Textured Mesh: Generate 3D Textured Mesh*  
*Settings - High Resolution*  
*Export - OBJ*

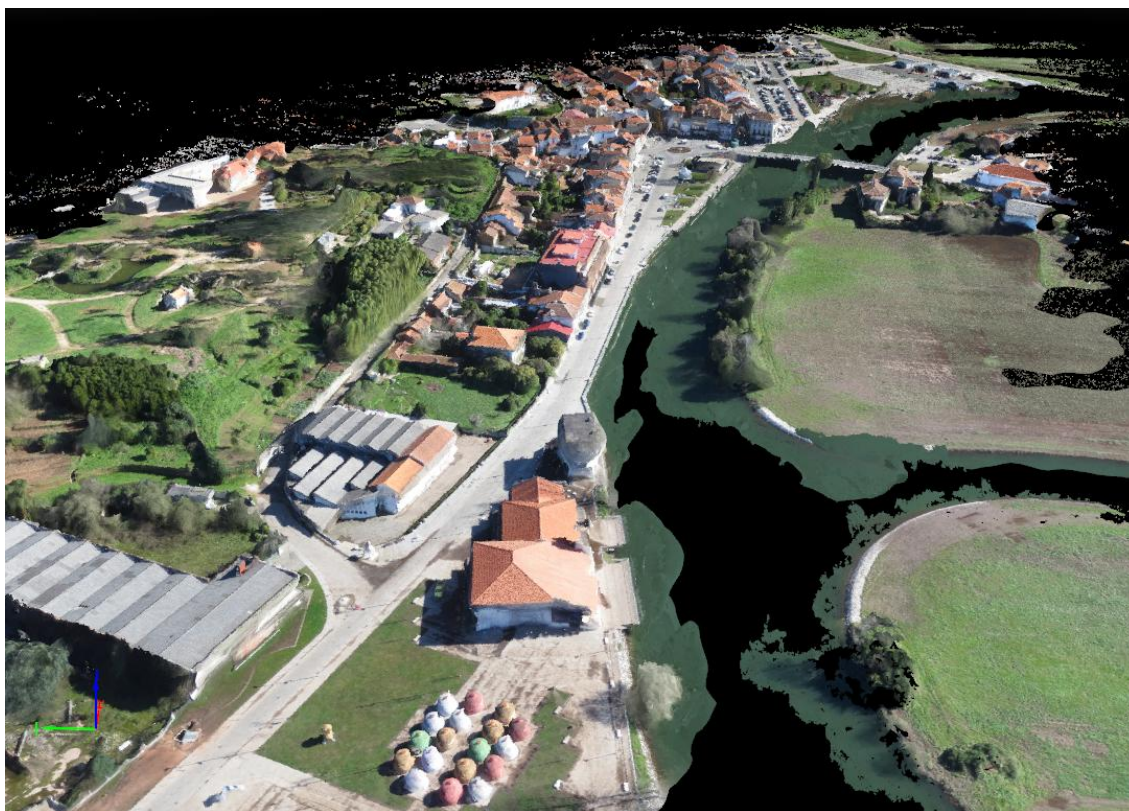


Figura 18 - Modelo 3D de Águeda gerado no Pix4Dmapper da Pix4D

### **5.1.3. Modelos de Baião e Águeda gerados no 3D Survey da Modri Planet**

Por último foi utilizado o software 3D Survey da Modri Planet para processamento das imagens. À semelhança dos testes anteriores, também aqui foram criados dois projetos e utilizadas as 119 imagens da zona de Águeda e as 117 da zona de Baião. O procedimento para a criação dos modelos foi o seguinte:

- **Carregamento das imagens**

Não sendo diferente de outros softwares deste tipo, também neste o processo tem início com o carregamento das imagens a utilizar para a geração do modelo 3D, tendo sido então carregadas todas as imagens previamente selecionadas. É também possível nesta fase importar os dados de telemetria do sistema UAV utilizado, contudo essa importação não foi efetuada para este trabalho.

- **Alinhamento das imagens**

Para se proceder ao alinhamento das imagens, foram seleccionadas as seguintes definições:

- ✓ *Global*: Para o alinhamento de todas as imagens;
- ✓ *Fly Height*: 200,00m na zona de Águeda dado ser uma altura próxima da altura média das imagens e 80,00 para a zona de Baião, por ser a altura média calculada pelo sistema UAV;
- ✓ *Dados da Câmara*: Estimar Automaticamente (por ser o sugerido e permitir que o software calcule os valores mais adequados para a câmara utilizada);

- **Nuvem de Pontos**

Para a criação da nuvem de pontos foram utilizadas as definições:

- ✓ *Reconstruction Level*: Extreme, para que fossem também aqui atingidos níveis de qualidade máximos;
- ✓ *Minimum Overlap*: 3, para garantir que não existem muitas zonas com falta de informação;
- ✓ *Optimize point cloud*: para melhores resultados.

- **MDS**

Para a criação do MDS foram definidos para parâmetros do modelo:

- ✓ *Tamanho das células da grelha*: 0.01;
- ✓ *Modo de preenchimento de vazios*: Todos, para uma melhor qualidade realística;
- ✓ *Tamanho da suavidade*: 1 célula.

- **DOF**

Para o preenchimento foram definidos para parâmetros do modelo:

- ✓ *Resolução desejada*: 0.01;

√ Resolução atual: 0.01;

√ Tamanho da célula: 0.01.

## **5.2. Implementação para Avaliação de Volumes Calculados a Partir de Modelos Tridimensionais de Maquetes, e de Aterro Sanitário**

### **5.2.1. Volumes Calculados a Partir de Topografia, Métodos Tradicionais e Modelos Tridimensionais de Maquetes**

#### **5.2.1.1. Levantamento Topográfico, Medições à fita e Aquisição de Imagens**

Devido às condições climáticas desfavoráveis, os trabalhos foram efetuados dentro das instalações da ESTGA, no corredor do edifício central.

Inicialmente procedeu-se ao levantamento topográfico dos três objetos já apresentados na secção 3.8.2, escolhidos para maquetes nesta dissertação.

Foram colocados 2 pontos de "estação", um em cada extremo norte e sul do corredor, onde foi colocada a estação total.

Para o levantamento topográfico, as maquetes foram colocadas em cima de uma mesa de apoio, posicionada sensivelmente a meio do corredor, e da qual os cantos estava previsto servirem como pontos de controlo, a utilizar no processamento dos dados.





Figura 19 - Levantamento Topográfico de Maquetes

Neste levantamento:

- Foi utilizada uma Estação Total Nikon, modelo NPR 332, cujas características já se encontram descritas na secção 3.5.1.3 desta dissertação;
- Realizaram-se um total de 6 "estações" (2 para cada maquete), a partir das quais foram levantados no total 65 pontos nos 3 objetos:
  - 15 no Paralelepípedo;
  - 31 na Esfera;
  - 19 no Cilindro;

Os pontos adquiridos foram os considerados como necessários para representar cada um dos objetos, para que praticamente todos os seus detalhes fossem levantados e da forma representada pelo esquema apresentado na figura seguinte:

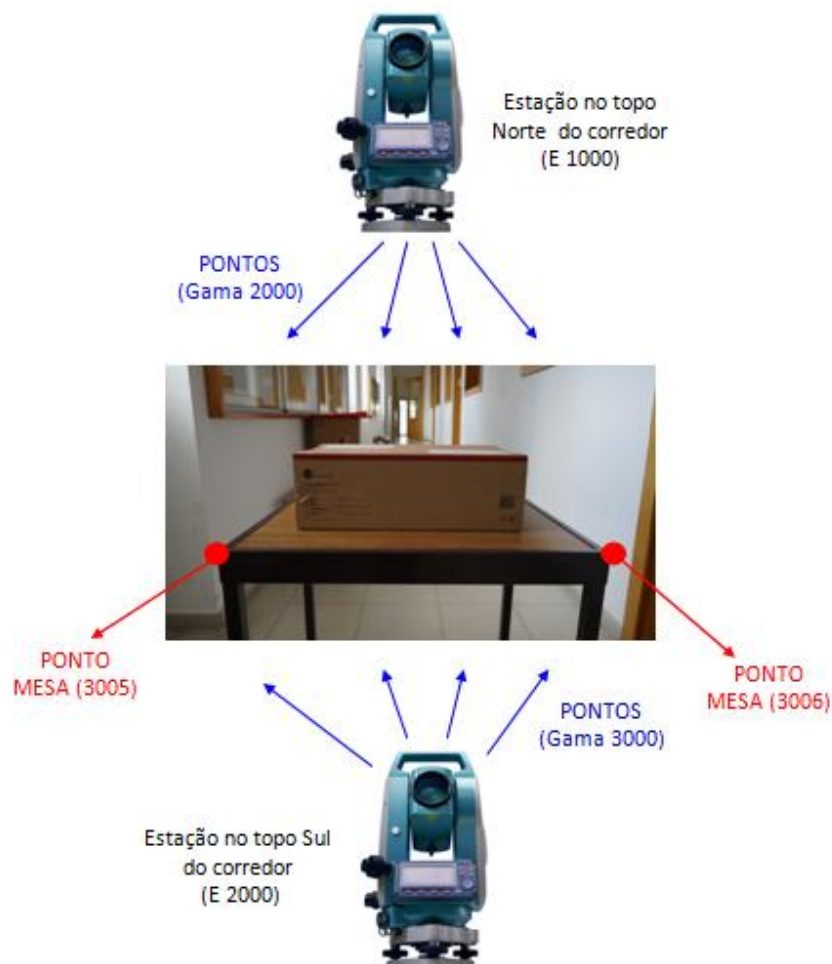


Figura 20 - Esquema do Levantamento Topográfico de Maquetes

Depois de efetuado o levantamento topográfico das 3 maquetes, procederam-se às medições "à fita", ou seja, através de métodos tradicionais de medição recorrendo a fita métrica, para aferição de valores aproximados de forma a validar de forma grosseira os valores mais tarde adquiridos com dados de topografia e de modelos 3D, conforme se pode verificar na seguinte figura:

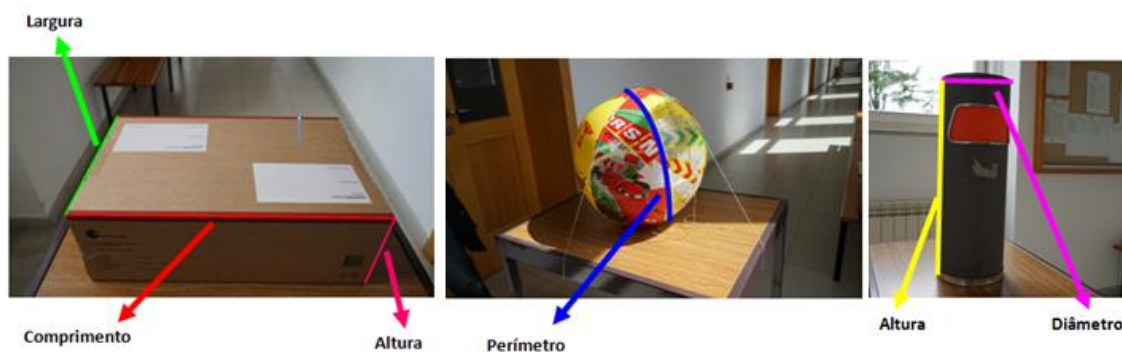


Figura 21 - Medições "à Fita" efetuadas às Maquetes

No caso da esfera, para medição do perímetro foi utilizado um fio de cordel, que foi depois medido recorrendo a fita métrica, onde o valor final resultou da média de três medições. Nas outras duas maquetes foi utilizada apenas a fita métrica.

Por último, nesta fase dos trabalhos, foram recolhidas as imagens das maquetes para posterior processamento e geração dos modelos 3D.

Neste levantamento:

- Foi utilizada uma câmara Sony ILCE-7M2, cujas características já se encontram descritas na secção 3.5.1.1 desta dissertação;
- Foram adquiridas um total de 196 imagens, sendo 83 da maquete em forma de bola, 61 da caixa e 52 do cilindro, com a camera posicionada em vários ângulos, de forma a proporcionar uma cobertura total dos objetos;

Também aqui foram recolhidas algumas fotografias de enquadramento para uma melhor consistência dos modelos.

#### **5.2.1.2. Cálculo do volume utilizando dados de levantamento topográfico**

Posteriormente foram levados para o AutoCAD Civil 3D os pontos levantados, de forma a poderem ser devidamente processados e gerado o seu volume.

Neste software, normalmente, para se criar um sólido a partir de uma superfície, utilizando os dados do levantamento topográfico, cria-se uma TIN utilizando os pontos levantados. No caso de sólidos com forma geométrica bem definida, em vez da TIN pode-se usar uma outra ferramenta designada por SOLID, que permite criar sólidos "primitivos", e que se adequa melhor aos dados levantados.

Foram então criados sólidos "primitivos" para cada uma das maquetes da seguinte forma:

- No caso da **esfera**, foi utilizado o comando *SPHERE* com a opção "2P" (*Two Points*), que define a circunferência da esfera especificando dois pontos em qualquer lugar no espaço 3D, tendo sido utilizados 2 pontos de representação do diâmetro do objeto existentes no levantamento. A escolha destes pontos baseou-se numa análise visual, tendo sido escolhidos aqueles que pareciam melhor representar a realidade.

- Para a criação do **paralelepípedo**, foi utilizado o comando *BOX*. Foram então definidos os dois cantos opostos do objeto, tendo a escolha destes pontos sido baseada numa análise visual, e introduzida a sua altura, que resultou da média dos vários valores levantados.

Para o **cilindro**, recorreu-se ao comando *CYLINDER*, utilizando a opção "2P" (*Two Points*), que define o diâmetro de base do cilindro especificando dois pontos, e introduzido o valor da altura, que tal como para os outros sólidos, foi resultante da média dos valores levantados.

Posteriormente foram calculados os volumes dos sólidos criados, utilizando o comando "MASSPROP" disponível no software, que calcula e apresenta uma grande variedade de propriedades dos sólidos, como se pode verificar na Figura 22:

```

----- SOLIDS -----
Mass:                2.6182
Volume:              2.6182
Bounding box:        X: 8.6941 -- 10.4960
                     Y: 3.6780 -- 6.0834
                     Z: 0.0000 -- 1.3497
Centroid:            X: 9.3389
                     Y: 4.4074
                     Z: 0.6749
Moments of inertia:  X: 53.4513
                     Y: 230.6528
                     Z: 280.9243
Products of inertia: XY: -107.3065
                     YZ: -7.7876
                     ZX: -16.5013
Radii of gyration:   X: 4.5183
                     Y: 9.3859
                     Z: 10.3584
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:

```

Figura 22 - Exemplo das propriedades apresentadas pelo comando MASSPROP do Autocad Civil

### 5.2.1.3. Criação de Modelos 3D no Agisoft

Antecedendo a criação dos modelos 3D das maquetes no Agisoft, foi ainda feita uma análise à qualidade das imagens, de forma a seleccionar aquelas que não apresentassem problemas de luminosidade, focagem, entre outros. Os parâmetros utilizados e os seus valores foram os mesmos que em 5.1.1. O procedimento para a criação dos modelos foi o seguinte:

- **Carregamento das imagens**

Foram carregadas no Agisoft as imagens previamente seleccionadas.

- **Alinhamento das imagens**

À imagem dos modelos anteriormente criados, os valores dos parâmetros utilizados nesta fase foram, tanto quanto possível, os recomendados ou mais adequados à finalidade dos modelos, e que são:

- ✓ *Accuracy: High;*
- ✓ *Pair preselection: Disabled;*
- ✓ *Constrain features by mask: Disabled;*
- ✓ *Key point limit: 40000;*
- ✓ *Tie point limit: 4000.*

- **Nuvem de Pontos**

Para a criação da nuvem de pontos apresentada na Figura 23, foram também definidos os parâmetros:

- ✓ *Quality: Ultra High*, uma vez que os objetivos dos modelos se prendem com qualidade realística. Contudo, quanto maior qualidade da nuvem, mais e melhores recursos a nível computacional são necessários.
- ✓ *Depth filtering: Aggressive;*



Figura 23 - Nuvem de Pontos do Paralelepípedo gerada no PhtoScan da Agisoft

- **Mesh**

Depois de gerada a nuvem de pontos, e para se poder efetuar a criação do modelo 3D procedeu-se então à construção da *mesh* (malha), ilustrada a seguir na Figura 24, de acordo com os seguintes parâmetros:

✓ *Surface Type: Arbitrary*, dado que as maquetes apresentam diferenças consideráveis, e este parâmetro permite que não seja assumido nenhum tipo específico de superfície quando se procede à sua modelação. Contudo, requer mais memória no processamento.

✓ *Source Data: Dense Cloud*, para resultados com alta qualidade;

✓ *Polygon Count: Ultra High*, para resultados com alta qualidade;

✓ *Interpolation: Enabled*, para que o PhotoScan efetue a cobertura de alguns buracos resultantes de falta de informação nessas zonas;

✓ *Point Classes: Enabled*, para que o PhotoScan efetue a cobertura de alguns buracos resultantes de falta de informação nessas zonas;

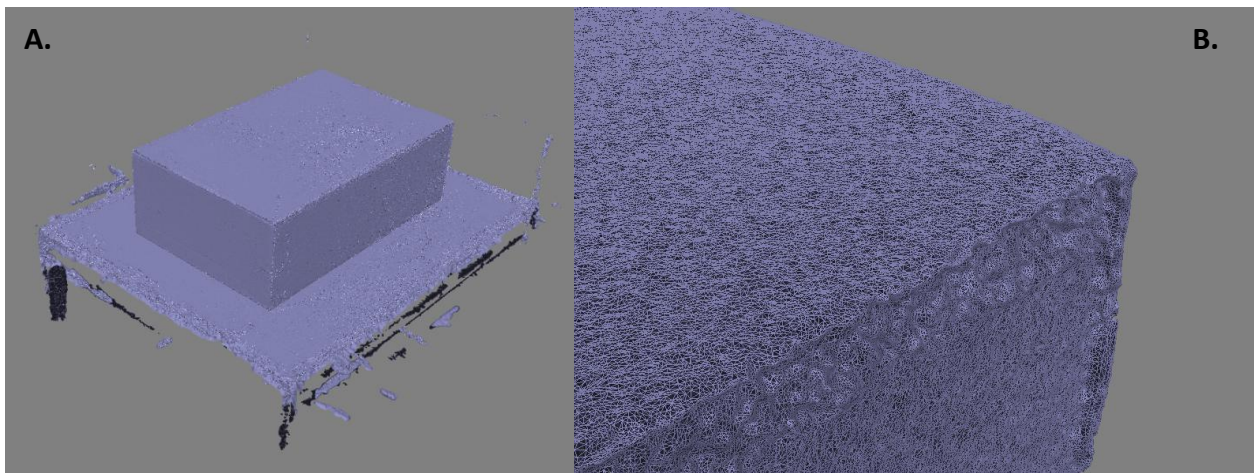


Figura 24 - *Mesh* do Paralelepípedo gerada no PhtoScan da Agisoft (A. Imagem global - B. Imagem de Pormenor)

- **Textura**

Independentemente de nesta parte do trabalho a qualidade realística não ser o objetivo, foi também criada a textura (visível na Figura 25) para os modelos 3D das maquetes com os seguintes parâmetros:

✓ *Mapping Mode: Generic*, uma vez que não se assume nenhum tipo específico de cena a ser modelada (objetos, terreno, etc.)

✓ *Blending Mode: Average*, pois utiliza a média ponderada de todos os pixéis.



√ *Texture Size/Count*: 50 000 x 1, por ser o valor recomendado.



Figura 25 - Modelo 3D Texturado do Paralelepípedo gerada no PhtoScan da Agisoft

- **Georreferenciação do modelo 3D**

Para se atingir um dos objetivos deste trabalho, ou seja, calcular os volumes das maquetes, foi necessário estabelecer sistemas de coordenadas dos modelos, para que as medições fossem reais e comparáveis com os outros dois métodos descritos na secção 5.2.1.1. Uma vez que se tratavam de sistemas locais, foi utilizada a opção de escolher os pontos de controlo e referenciar o modelo através de uma barra de escala, representada a amarelo na Figura 26.

Assim, foram criados em cada modelo 2 pontos que serviram de referência ao modelo bem como criadas as respetivas barras de escala recorrendo aos seguintes menus e comandos:

1º - No painel *Reference*→*Markers* seleccionou-se a ferramenta *Create Marker* e procedeu-se à colocação dos pontos de controlo na sua localização aproximada, que foram automaticamente reconhecidos nas fotografias em que eram visíveis.

2º - Em seguida, os pontos foram ajustados manualmente deslocando-os para os locais corretos em cada uma das imagens onde se encontravam.

3º - Utilizando os 2 pontos assim ajustados, foi então criada uma barra de escala em cada modelo acedendo à barra de ferramentas do painel *Workspace*→*Add Scale Bar*. Depois de criada a barra de escala definiu-se a distância que a mesma representa no modelo, a qual resultou das medições da distância entre os 2 pontos recolhidos no levantamento topográfico.

4º - Na barra de ferramentas do painel *Reference*→*Settings* foi definido sistema de coordenadas local.



Figura 26 - Modelo 3D da Esfera Georreferenciado através de uma *Scale Bar*

- **"Limpeza" do modelo**

De forma a se poder estimar o volume dos modelos, foi necessário remover toda a informação (faces da *mesh*) fora das maquetes que havia sido gerada, deixando apenas a que melhor contribuiu para estimar a forma dos objetos conforme se pode verificar na Figura 27.



Para esta operação recorreu-se às várias ferramentas de seleção do software, conjugando-as com os comandos *Delete Selection* e *Crop*.

É de salientar que é notória a diferença da dificuldade e tempo despendido entre os diferentes modelos no que diz respeito a esta tarefa, fruto da natureza dos objetos, tendo sido naturalmente mais fácil e rápido tratar o modelo do paralelepípedo.



Figura 27 - Modelo 3D do Cilindro (A. Modelo Total - B. Modelo Tratado)

- **Fechar "Buracos" dos Modelos**

Outra tarefa necessária para que a estimação de volumes possa ser efetuada é fechar os "buracos" existentes nos modelos, que não são mais do que zonas com falta de informação ou com informação sem qualidade que foi eliminada, dando origem a um modelo totalmente fechado conforme se pode ver na Figura 28.

Esta tarefa é levada a cabo utilizando a ferramenta *Tools*→*Mesh*→*Close Holes*.



Figura 28 - Pormenor do Paralelepípedo depois de efetuado o comando *Close Holes*

- **Cálculo de Volume**

Por fim, para calcular o volume de cada uma das maquetes, recorreu-se ao comando *Measure Area and Volume* do menu *Tools*→*Mesh*, que apresenta o volume em metros cúbicos (m<sup>3</sup>) e a área em metros quadrados (m<sup>2</sup>).

### **5.2.2. Volume de Aterro Sanitário Calculado a Partir de Topografia e de Imagens UAV**

#### **5.2.2.1. Cálculo do volume utilizando dados de levantamento topográfico**

O levantamento topográfico necessário na comparação dos valores do volume do aterro sanitário do Planalto Beirão, no concelho de Tondela calculados através de métodos Topográficos e recorrendo a novas tecnologias utilizando Fotogrametria Aérea com imagens adquiridos por sistema UAV, recorreu a um sistema GNSS, com o qual foram recolhidos 3753 pontos estratégicos no sistema de coordenadas PT-TM06/ETRS89, ao longo dos elementos delimitadores das células de acumulação de lixo, bem como em caminhos e topos e bases de taludes, como se pode verificar na Figura 29.

O aterro sanitário em causa possui aproximadamente 530 metros de comprimento e 235 metros de largura, apresentando uma área total de cerca de 12,5 ha. Existe nesta infraestrutura uma área que não apresenta ainda depósito de resíduos, ou seja onde as células de acumulação se encontram ainda vazias, reduzindo a área de monitorização para cerca de 9,5 ha. A altura média na área de monitorização é cerca de 19 metros.



Figura 29 - Pontos e linhas resultantes do Levantamento Topográfico

Os dados do levantamento, organizados num ficheiro.txt no formato X,Y,Z,DESCRICAO foram importados no AUTOCAD CIVIL com o software MDT V6 instalado, onde foram geradas a superfície e a malha.

Por fim, utilizando uma superfície inicial criada no início dos trabalhos de monitorização no ano de 2006, com as células de acumulação de lixo vazias, e usada sempre como superfície de referência durante todas as campanhas anuais, calculou-se o volume de aterro, subtraindo à mesma a resultante do levantamento da campanha de 2015.

#### **5.2.2.2. Cálculo do volume utilizando Imagens UAV**

Numa primeira fase, procedeu-se à aquisição de imagens com recurso a sistema UAV, no Aterro Sanitário do Planalto Beirão, concelho de Tondela, por uma empresa externa, a SleekLab, Lda, que possui um protocolo de colaboração com a Geolayer.

A aquisição das imagens foi feita durante o dia, em boas condições de luminosidade e sem registo da existência de nuvens. Realizaram-se 5 voos de levantamento da área em questão.



Figura 30 - Aquisição de Imagens UAV (Aterro Sanitário). A. Fase de Preparação; B. UAV utilizado; C. UAV em pleno voo

Neste levantamento, cujo esquema de voo se encontra na Figura 31, foi efetuado:

- Foi utilizado um sistema UAV de asa rotativa, modelo desenvolvido pela empresa SleekLab, equipado com uma câmara Canon PowerShot.
- Realizaram-se 5 voos de levantamento da área em questão;
- As imagens foram recolhidas durante o dia, em condições de boa luminosidade mas com algumas nuvens altas;
- Foram adquiridas 413 imagens, tiradas em 5 fiadas, com a camara posicionada na horizontal relativamente ao solo;



Figura 31 - Esquema de voo da aquisição de imagens UAV de Aterro Sanitário

Para este trabalho foram também colocados 22 pontos de controle ao longo da área a levantar, cuja localização se pode identificar na imagem seguinte:



Figura 32 - Localização dos Pontos de Controle na Área de Intervenção

As imagens assim adquiridas foram processadas e gerado o modelo 3D do aterro sanitário, utilizando os 22 pontos de controle colocados na área de intervenção. O processamento foi efetuado no software PhotoScan da Agisoft, tido como sendo a melhor ferramenta de processamento analisada nesta dissertação.

#### 5.2.2.2.1. Geração da nuvem de pontos do Aterro Sanitário

Para a criação do modelo 3D do aterro sanitário de Baião foram também analisadas as 413 imagens adquiridas, optando-se por neste caso usar a sua totalidade.

- **Carregamento das imagens**

Foram carregadas as 413 imagens adquiridas para a criação do modelo 3D.

- **Alinhamento das imagens**

De seguida foi efetuado o seu alinhamento, originado a nuvem de pontos inicial para posterior geração da nuvem mais densa. Os valores dos parâmetros utilizados foram também nesta fase sempre que possível os recomendados, e que são:

- √ *Accuracy: High*;
- √ *Pair preselection: Disabled*;
- √ *Constrain features by mask: Disabled*;
- √ *Key point limit: 40000* (por ser o valor recomendado);
- √ *Tie point limit: 4000* (por ser o valor recomendado);

- **Nuvem de Pontos**

Depois de efetuado o alinhamento das imagens, foi gerada a nuvem de pontos, utilizando os seguintes parâmetros:

- √ *Quality: Ultra High*, para geração de nuvem de densidade máxima;
- √ *Depth filtering: Mild*, para bons resultados no que diz respeito ao detalhe.

Depois de gerada a nuvem, esta foi tratada sendo removidos todos os pontos fora da área a monitorizar, sendo depois exportada para o formato XYZ Point Cloud (\*.txt) a fim de ser utilizada para a geração da malha.

Os parâmetros utilizados para esta exportação foram:

- √ *Coordinate System: ETRS89 / Portugal TM06 (EPSG::3763)*
- √ *Source Data: Dense Cloud*;
- √ *Point Classes: All*;
- √ *Precision: 6* (casas decimais);

Contudo, ao tentar importar esta nuvem para o AUTOCAD CIVIL, dado a mesma ter atingido cerca de 8.71 GB de tamanho, não foi possível utilizá-la para geração da malha no módulo de software MDT, pelo que se decidiu gerar uma nuvem mais dispersa, com os seguintes parâmetros:

- √ *Accuracy: Medium*;
- √ *Pair preselection: Disabled*;
- √ *Constrain features by mask: Disabled*;
- √ *Key point limit: 40000* (por ser o valor recomendado);
- √ *Tie point limit: 4000* (por ser o valor recomendado);

A decisão de utilizar esta nuvem resultou da análise visual da sua qualidade (quantidade de pontos e zonas sem informação) comparativamente com a nuvem densa, onde se concluiu



que não existia falta de informação que comprometesse o estabelecimento da comparação com a topografia, conforme se pode verificar na Figura 33.

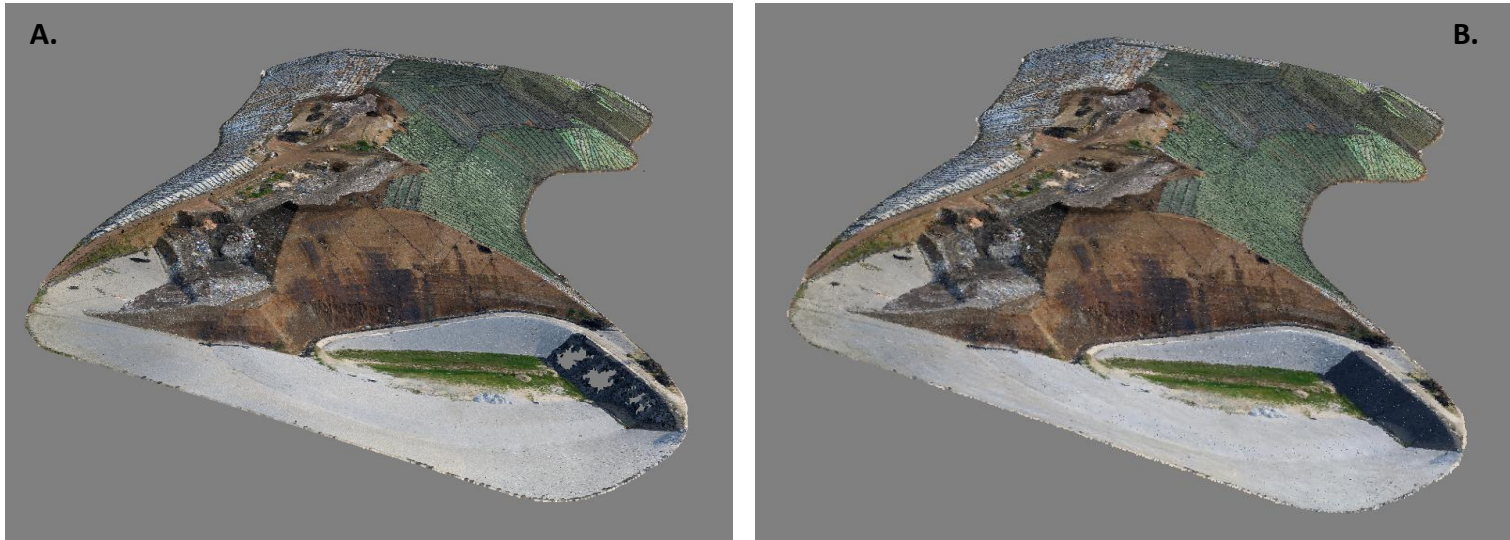


Figura 33 - Nuvens de Pontos (A. Nuvem mais Densa - B. Nuvem mais Dispersa)

#### 5.2.2.2.2. Geração da malha e cálculo do volume

Depois de importada nuvem de pontos para o AUTOCAD CIVIL com o software MDT V6, avançou-se para a criação da malha e cálculo do volume, de acordo com o seguinte procedimento:

- **Criação de superfície (TIN) utilizando informação da nuvem**

1º - Para criação da TIN recorreu-se ao comando Criar Superfície do menu *MDT*→*Superfície*.

2º - De seguida foram seleccionados os pontos da nuvem bem como o limite de contorno da área a monitorizar.

- **Geração da malha**

1º - Para criação da malha recorreu-se ao comando Criar Malha a partir de Superfície do menu *MDT*→*Malha*.

2º - De seguida foi seleccionada a superfície criada anteriormente e utilizados os seguintes parâmetros:

- √ Tipo de Ficheiro: Malha Binária;
- √ Contorno;
- √ Dimensão da célula; 1m (por ser o valor utilizado na criação da malha utilizando os dados da Topografia;
- √ Extrapolar células no perímetro;

- **Cálculo do volume por diferença de malhas**

1º - Para efetuar o cálculo do volume recorreu-se ao comando Diferença de Malhas do menu *MDT→Volume*.

2º - Foram então seleccionadas a malha criada com a informação da nuvem de pontos resultante das imagens UAV, e a superfície inicial (ano de 2006), a qual serve também de referência.



## **6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados de toda a implementação, procedimentos e testes efetuados ao longo desta dissertação.

### **6.1. Resultados e Análise da Comparação de Modelos 3D de Baião e Águeda Gerados em Vários Softwares**

Depois de gerados os modelos 3D das zonas Baião e Águeda nos diferentes softwares, foi efetuada a comparação dos modelos mediante os seguintes critérios de avaliação:

- Qualidade realística;
- Tempo de processamento;
- Tamanho em disco;

Esta comparação, por critério, é detalhada nas subsecções que se seguem.

#### **6.1.1. Qualidade Realística dos Modelos**

A qualidade realística dos modelos produzidos por cada um dos softwares a comparar é avaliada a seguir de acordo com as áreas de estudo Baião e Águeda.

##### **6.1.1.1. PhotoScan da Agisoft**

- Baião

Em termos de qualidade realística, nos modelos gerados no Software PhotoScan da Agisoft foi verificado que, no trabalho de Baião existem algumas zonas com falta de informação, que se verificam na zona do rio Douro, mas também em algumas partes cobertas com vegetação mais densa em zonas mais elevadas da área em estudo.

Verificou-se que foram gerados com qualidade os mais variados tipos de elementos de natureza construtiva tais como edifícios, muros, etc., mas também os de natureza não construtiva como rochas, vegetação, taludes, entre outros.

No que diz respeito à reconstrução de pormenores e detalhes, pode dizer-se que estes foram reconstruídos de forma satisfatória, uma vez que é visível na maioria da área o formato das rochas e algumas das suas particularidades, bem como ao nível da vegetação, onde foram gerados ramos e galhos maiores de vegetação morta ou seca, conforme se pode verificar na

Figura 34 (A e B). Relativamente a detalhes nas edificações, podemos observar que foram gerados alguns dos pilares das varandas bem como degraus de escadarias, ainda que de uma forma um pouco simplificada.

Quanto ao nível de falta de nitidez de detalhes, pode ser utilizado como parâmetro de avaliação a possibilidade de se observar neste modelo os pormenores da calçada portuguesa existente no pavimento.



Figura 34 - Pormenor do Modelo 3D de Baião gerado no PhotoScan (A. Edificação - B. Vegetação)

- Águeda

Quanto à zona de Águeda, existem algumas áreas com falta de informação, estando estas também associadas à zona do rio Águeda (Figura 35), bem como a zonas de vegetação mais densa como o parque da cidade designado por Parque da Alta Vila.

No modelo 3D os telhados das edificações apresentam um nível de detalhe e pormenor razoáveis. No que diz respeito às fachadas, esta situação não se verifica nestes moldes, uma vez que estas se apresentam com menos qualidade, verificada pelo baixo contraste existente, falta de pormenor e também deformação na maioria dos casos.

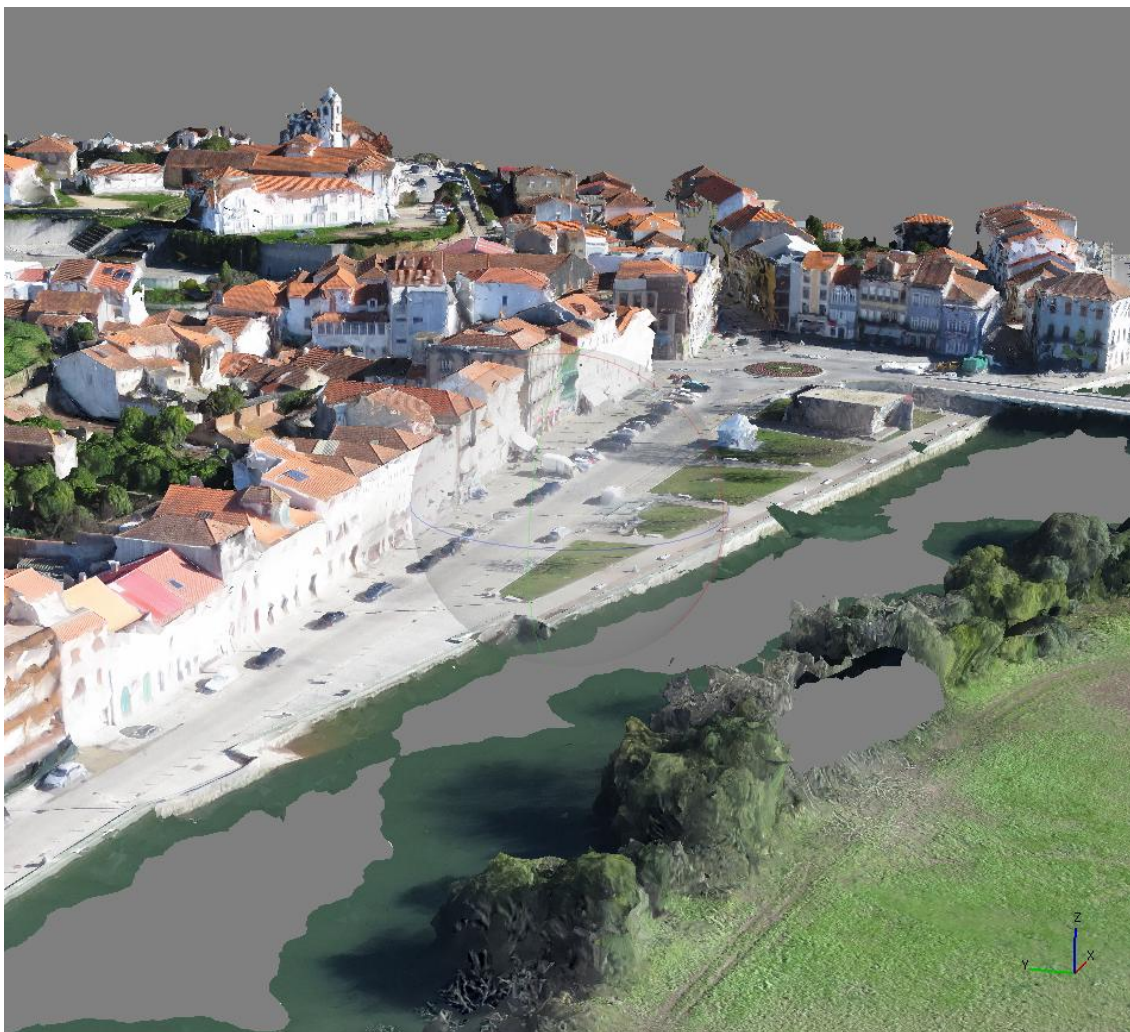


Figura 35 - Parte do Modelo 3D de Águeda gerado no PhotoScan

Foram gerados alguns elementos de volumetria reduzida tais como bancos de jardim, ainda que com grandes níveis de deformação e pouco detalhe. A nível da cobertura vegetal em altura (árvores de grande porte), foram geradas copas tendo algumas detalhe suficiente para perceber que se tratam de palmeiras, apresentando-se contudo como manchas suspensas, sem associação ao restante terreno.

Não foram gerados postes, sinais de trânsito, nem árvores desprovidas de folhagem, contudo foram também gerados elementos que não fazem parte da paisagem, tais como automóveis, ainda que apresentem formas bastante simplificadas, conforme se pode analisar na Figura 36:



Figura 36 - Pormenor do Modelo 3D de Águeda gerado no PhotoScan

#### 6.1.1.2. Pix4Dmapper da Pix4D

- Baião

No que diz respeito à falta de informação no modelo, pode-se verificar a existência de alguns "buracos", ou seja zonas onde não existe informação, ainda que em pequeno número. Também aqui foram gerados variados tipos de elementos, naturais ou não naturais, de acordo com as características da área.

Quanto ao nível de reconstrução de pormenores e detalhes, verificou-se que no modelo 3D não existe um grau tão satisfatório, relativamente àquele produzido com o Agisoft, a este nível. No que diz respeito ao terreno, são visíveis algumas zonas de rocha, existindo contudo outras com alguma deformação, onde se verifica modelação menos realista. Ainda a este nível, no que diz respeito à vegetação, a informação de qualidade gerada é de alguma forma "anulada" pela quantidade de falsa informação existente no modelo, assumindo na maioria dos casos um formato de "bolha suspensa", conforme se pode observar na Figura 37 (A e B). Relativamente às edificações, foram também gerados os pilares das varandas bem como os gradeamentos, ainda que de uma forma baste simplificada e grosseira.

Quanto ao nível de pixelização, poderá dizer-se que genericamente a falta de nitidez dos detalhes é acentuada ao longo de todo o modelo.





Figura 37 - Pormenor do Modelo 3D de Baião gerado no Pix4Dmapper (A. Edificação - B. Vegetação)

- Águeda

No modelo que diz respeito à zona de Águeda, há poucas partes com falta de informação, estando as existentes associadas à zona do rio. Na zona do parque da cidade, não se verificam faltas de informação relevantes.

Quanto ao grau de reconstrução de pormenores e detalhes, este é também aceitável quando analisados os telhados das edificações, o que já não se verifica no que diz respeito às suas fachadas, que para além da falta de pormenor, encontram-se também com grandes distorções em termos de volumetria (Figura 38).



Figura 38 - Parte do Modelo 3D de Águeda gerado no Pix4Dmapper

Também com este software foram gerados elementos de dimensões mais reduzidas, mas também com grandes níveis de deformação e falta de pormenor. Quanto a árvores de grande porte, não se verifica a geração de praticamente nenhuma copa.

No que diz respeito a elementos não pertencentes à paisagem, foram também gerados automóveis, contudo apresentam distorções e falta de pormenor, como se pode verificar na Figura 39:



Figura 39 - Pormenor do Modelo 3D de Águeda gerado no Pix4Dmapper

#### 6.1.1.3. 3D Survey da Modri Planet

- Baião

No modelo gerado não se verificam praticamente nenhuma zona com falta de informação. Foram gerados os vários tipos de elementos existentes na zona em causa, contudo é um modelo simplificado, que apresenta zonas com deformação e falta de realismo, tendo também baixa qualidade em termos de resolução.

No que diz respeito a detalhe, este é um modelo em que foram geradas as características principais da paisagem, tais como afloramentos rochosos, socacos, os elementos de natureza construtiva e vegetação, mas todos de uma forma simplista e genérica, onde não são visíveis os níveis de pormenor verificados nos modelos produzidos com os outros softwares.

As características das rochas e da vegetação não são muitas vezes perceptíveis, não se distinguindo por vezes a diferença entre as rochas e vegetação seca, situação perceptível na Figura 40 (A). Os elementos de natureza construtiva são os que apresentam um maior grau de detalhe. Não são visíveis ramos e galhos de vegetação seca, contrariamente ao que acontece nos modelos gerados pelos outros dois softwares (Figura 40).





Figura 40 - Pormenor do Modelo 3D de Baião gerado no 3D Survey (A. Edificação - B. Vegetação)

Na zona mais central do modelo, na zona das edificações da propriedade, onde foram adquiridas imagens de pormenor, apesar da modelação ser muito simplista, não se verificam grandes deformações nem existência de falsa informação. Já nas zonas de periferia do modelo, é notório a existência de deformação bem como falta de realismo, conforme se pode verificar na imagem Figura 41.

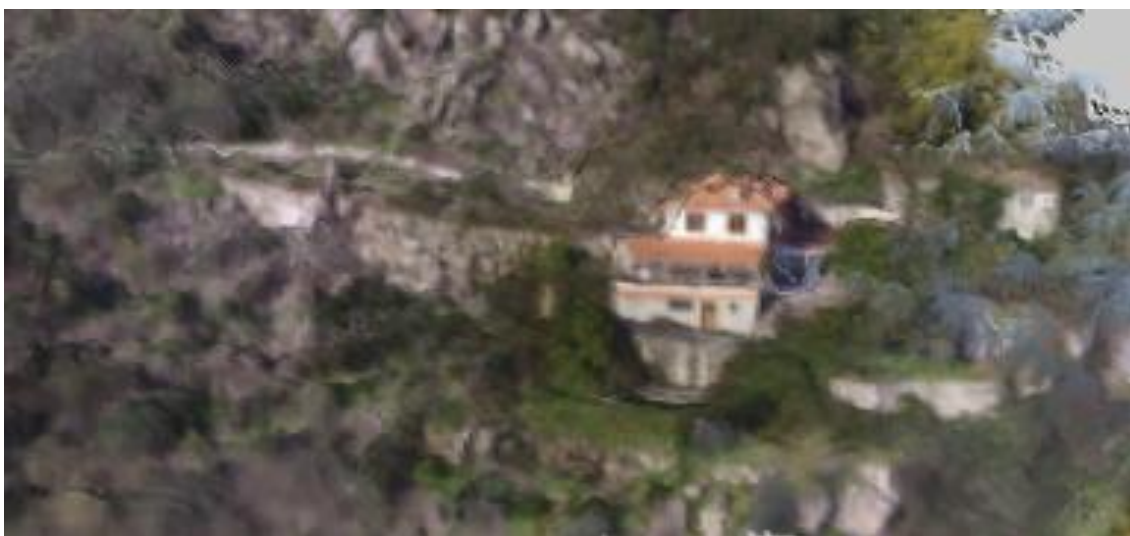


Figura 41 - Parte do Modelo 3D de Baião (zona central e periferia) gerado no 3D Survey

- Águeda

No modelo da zona de Águeda, existem zonas com falta de informação, na zona do parque da cidade, bem como na zona do rio.

Quanto ao grau de reconstrução de pormenores e detalhes, à imagem do modelo de Baião, também este é um modelo simplista, onde existem também problemas nas fachadas dos



edifícios, estando os telhados mais uma vez num nível superior de qualidade relativamente às mesmas.

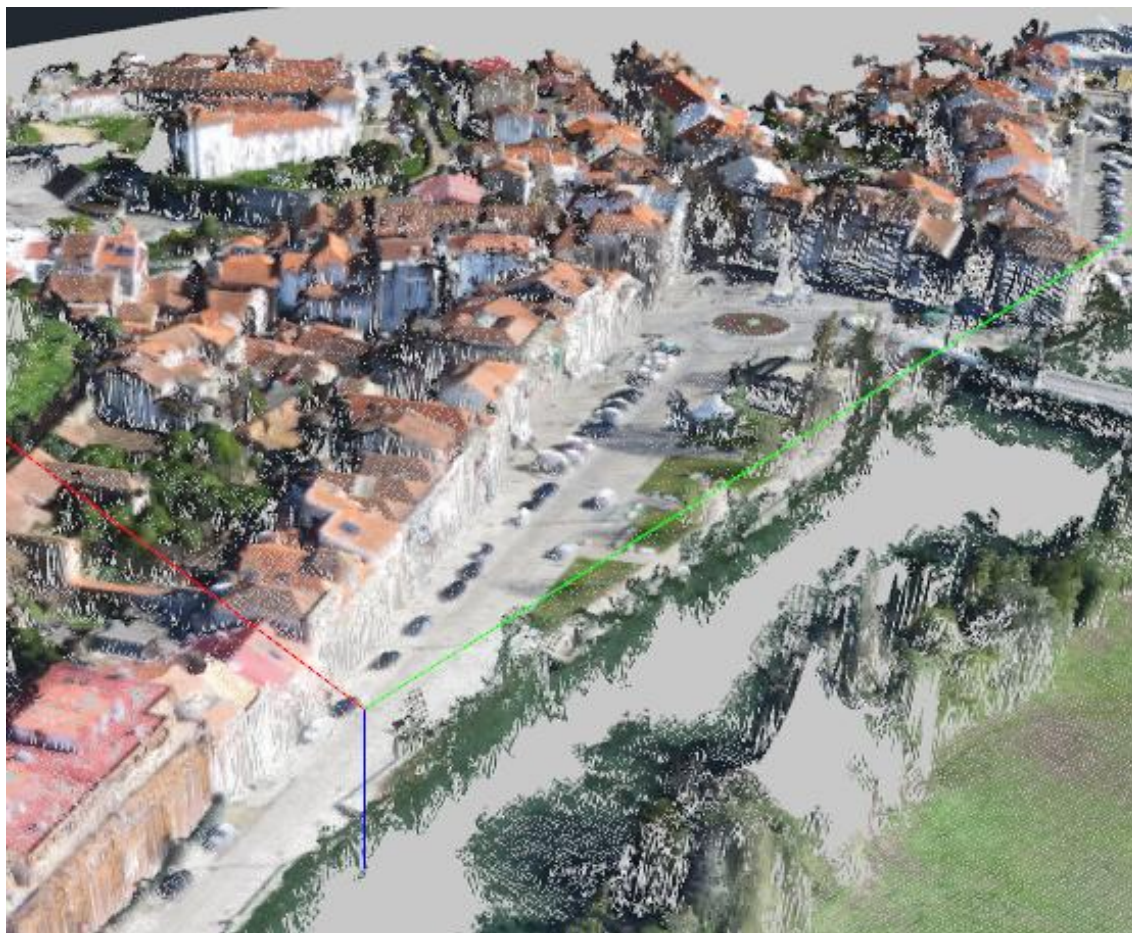


Figura 42 - Parte do Modelo 3D de Águeda gerado no 3D Survey

Verifica-se a existência de elementos de dimensões reduzidas, apresentando contudo um grau de simplicidade na mesma linha do resto do modelo. No que diz respeito aos automóveis, os mesmos foram também modelados, contudo sem pormenor nem detalhe satisfatórios, como se pode verificar na Figura 43:

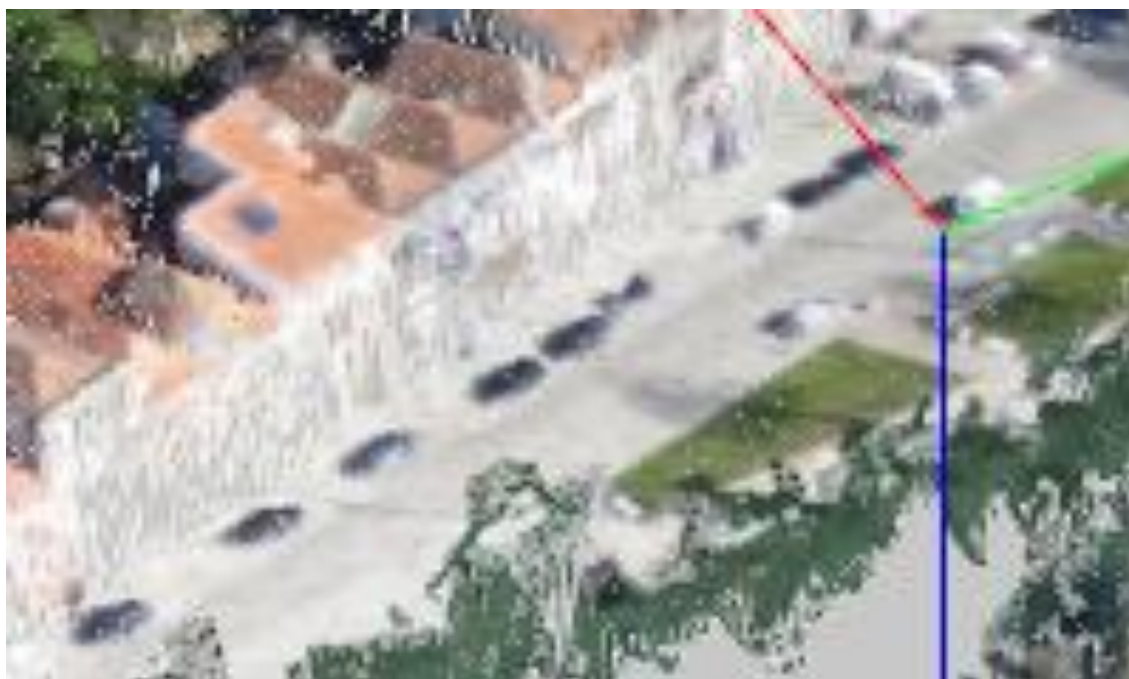


Figura 43 - Pormenor do Modelo 3D de Águeda gerado no 3D Survey

Concluindo, da análise e avaliação dos modelos, verifica-se que em termos de qualidade realística o software que gerou informação mais fiel à realidade para este estudo foi o PhotoScan da Agisoft, seguido do Pix4Dmapper da Pix4D, sendo o 3D Survey da Modri Planet o que pior representou as zonas de Baião e Águeda, conforme se pode verificar na Figura 44.



Figura 44 - Comparação de Pormenor do Modelo 3D de Baião nos 3 Softwares (A. Agisoft - B. Pix4D - C. 3D Survey)

### 6.1.2. Tempo de Processamento

Relativamente ao tempo de processamento dos modelos, os manuais dos softwares indicam que nos relatórios de qualidade produzidos é registado o tempo de processamento do alinhamento das imagens, bem como da geração da nuvem de pontos. Contudo verificou-se que nos relatórios do Pix4D e do 3D Survey não existe essa informação. Assim, e para o

Pix4D recorreu-se ao ficheiro .log enquanto que para o 3D Survey o tempo de processamento foi cronometrado manualmente. Esta situação poderá prender-se com o facto de se ter trabalhado em versões trial, que possivelmente devido à sua natureza não permitem que todas as operações existentes no software licenciado normalmente funcionem nos mesmos moldes. Os tempos de processamento dos modelos produzidos pelos diferentes softwares estão apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Tempo de Processamento do Modelos 3D

	<b>Tempo de Processamento</b>	
	<b>Águeda</b>	<b>Baião</b>
<b>PhotoScan da Agisoft</b>	2h14m	6h50m
<b>Pix4Dmapper da Pix4D</b>	2h41m	1h39m
<b>3D Survey da Modri Planet</b>	4h53m	1h39m

Da análise efetuada aos tempos de processamento, o software com melhor performance em termos de tempo médio de execução do processamento é o Pix4Dmapper da Pix4D, seguido do 3D Survey da Modri Planet, sendo o PhotoScan da Agisoft o software que mais tempo levou a processar a informação para a geração dos modelos 3D. No entanto, relativamente a cenários urbanos, como é o caso de Águeda, o tempo de processamento dos 3 softwares é praticamente igual. A situação é deveras diferente no caso de Baião, que representa um cenário complexo com muita vegetação.

### 6.1.3. Tamanho em Disco

O tamanho em disco ocupado pelos modelos gerados pelos 3 softwares estão tabelados na Tabela 3:

Tabela 3 - Tempo ocupado em disco pelos Modelos 3D

### Tamanho em disco dos Modelos

	Águeda	Baião
PhotoScan da Agisoft	3,04 GB	1,78 GB
Pix4Dmapper da Pix4D	5,69 GB	7,90 GB
3D Survey da Modri Planet	697 MB	1,19 GB

Desta forma, verifica-se que o software com o menor espaço em disco ocupado pelos modelos é o 3D Survey da Modri Planet, seguido do PhotoScan da Agisoft, sendo o Pix4Dmapper da Pix4D o software que mais espaço em disco ocupou.

#### 6.1.4. Análise Global

Para além dos resultados obtidos em todos os testes efetuados, é de salientar também o grau de facilidade do funcionamento de cada um dos softwares. Durante todos os trabalhos realizados foi notória a diferença na facilidade e forma intuitiva de manuseamento dos mesmos.

Apesar de o Pix4D se ter revelado um software de fácil compreensão e manuseamento, para além de apresentar resultados também eles de qualidade nos trabalhos realizados no âmbito desta dissertação, o PhotoScan da Agisoft foi claramente o software mais intuitivo e *user-friendly*, bem como apresentou de um modo geral resultados bastante satisfatórios para os diferentes critérios, mesmo quando não se verificou que fosse o melhor. No que diz respeito ao 3D Survey, verificou-se uma grande dificuldade em compreender o funcionamento do software, bem como as definições que o mesmo permite parametrizar. Para além disto, foi também extremamente difícil manusear as ferramentas de visualização o que trouxe muita entropia e dificuldade aos processos.

De uma forma global, os resultados obtidos para os critérios estabelecidos indicam que cada um deles é superior aos outros dois em um critério, sendo o PhotoScan da Agisoft o que melhores resultados apresentou relativamente à qualidade realística, o Pix4Dmapper da Pix4D o que melhores tempos de processamento efetuou, e o 3D Survey da Modri Planet o que menos espaço em disco ocupa.

Numa situação ideal, a relação entre estes três critérios seria diretamente proporcional, o que faria com que modelos com melhor qualidade demorem mais tempo a ser processados e ocupem mais espaço em disco. Contudo, é aqui que as diferenças entre os algoritmos de processamento podem alterar esta relação.

Efetuada uma análise crítica aos trabalhos efetuados, é importante salientar que alguns dos resultados obtidos se encontram diretamente relacionados, embora também se verifiquem alguns desvios a esta proporcionalidade.

Verificou-se por exemplo que os modelos com pior qualidade realística, os da zona de Águeda e Baião do 3D Survey, são os que menos espaço em disco ocupam. Verificou-se também que o modelo que apresenta melhor qualidade, o de Baião do PhotoScan, foi o que mais tempo levou a processar.

Contudo, ocorreram também durante este processo alguns desvios, como por exemplo o facto de os modelos gerados no Pix4D possuírem uma diferença de mais do dobro do tamanho ocupado, e no entanto não apresentarem neste trabalho os melhores resultados em termos de qualidade realística.

De uma forma geral, atendendo à finalidade da criação destes modelos (que se prende com questões estéticas), aos resultados dos critérios de tempo e tamanho, e por fim, estabelecendo ainda uma ligação ao preço e facilidade de funcionamento com software, pareceu razoável assumir para efeitos desta dissertação o PhotoScan da Agisoft como sendo o software mais completo para a realização destes trabalhos.

## **6.2. Resultados da Comparação de Volumes Calculados a Partir de Modelos 3D de Maquetes e Aterro Sanitário**

### **6.2.1. Resultados da Comparação de Volumes Calculados a Partir dos Modelos 3D de Maquetes**

No que respeita à Fotogrametria, foi com base nos modelos 3D das maquetes apresentados na figura 45, que foi calculado o volume das mesmas.





Figura 45 - Modelos 3D das Maquetes (A. Esfera - B. Cilindro - C. Paralelepípedo)

Quanto à topografia, o volume foi calculado com base nos sólidos criados utilizando os dados do levantamento topográfico, apresentados na Figura 46.

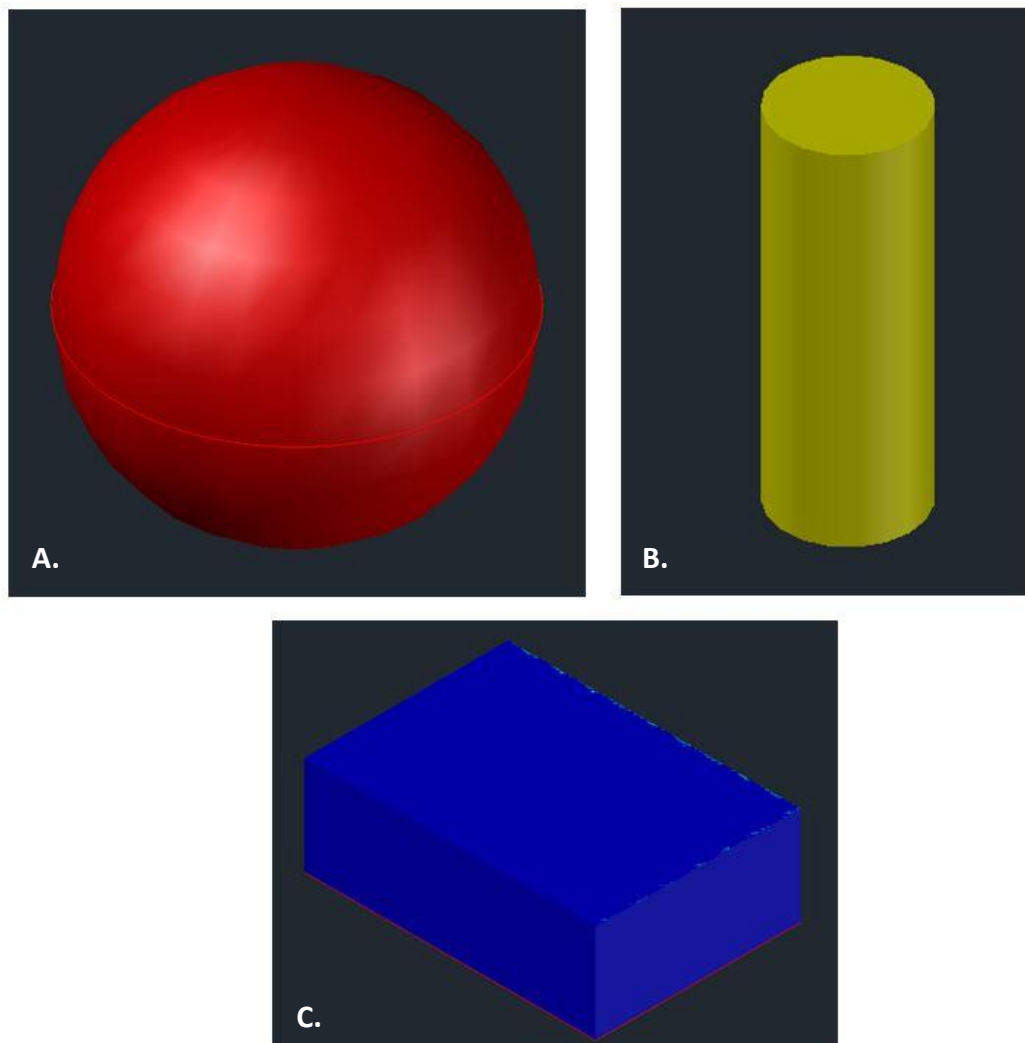


Figura 46 - Sólidos das Maquetes criados com dados de Topografia (A. Esfera - B. Cilindro - C. Paralelepípedo)

Por fim, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 4 para os volumes dos diferentes sólidos calculados com as diferentes técnicas.

Tabela 4 - Valor do Volume em  $m^3$  resultantes da Topografia, Fotogrametria e Medições à Fita

Volume ( $m^3$ )			
	Esfera	Cilindro	Paralelepípedo
Topografia	0,0311	0,0210	0,0297
Fotogrametria	0,0305	0,0186	0,0287
Medições à Fita	0,0334	0,0196	0,0282

Conforme já descrito em 4.2.1, a comparação dos volumes é efetuada estabelecendo a diferença (D) dos volumes obtidos para cada objeto, pelo uso da Topografia que se consideram ser os valores de referência, e pelo uso de Fotogrametria. Os valores obtidos para D para cada um dos sólidos encontram-se tabelados na Tabela 5, juntamente com o erro relativo.

Tabela 5 - Diferenças do Valor do Volume em m<sup>3</sup> e respetivo erro relativo

Diferenças de Volume (m3)								
		Esfera			Cilindro			Paralelepípedo
Fotogrametria		0,0006		0,0024		0,0010		

Erro Relativo nas Diferenças de Volume (m3)								
		Esfera			Cilindro			Paralelepípedo
Fotogrametria		2%		11%		3%		

### 6.2.2. Resultados da Comparação de Volumes Calculados a Partir do Modelo 3D e da Topografia do Aterro Sanitário

Para efetuar a comparação entre os volumes foi utilizado o método da diferença de malhas tanto para os dados de topografia como para os dos modelos 3D. Nas figuras 47 e 48, são visíveis, respetivamente, partes das malhas de referência (a azul) e da que representa a superfície atualmente (a vermelho), e seus pormenores.



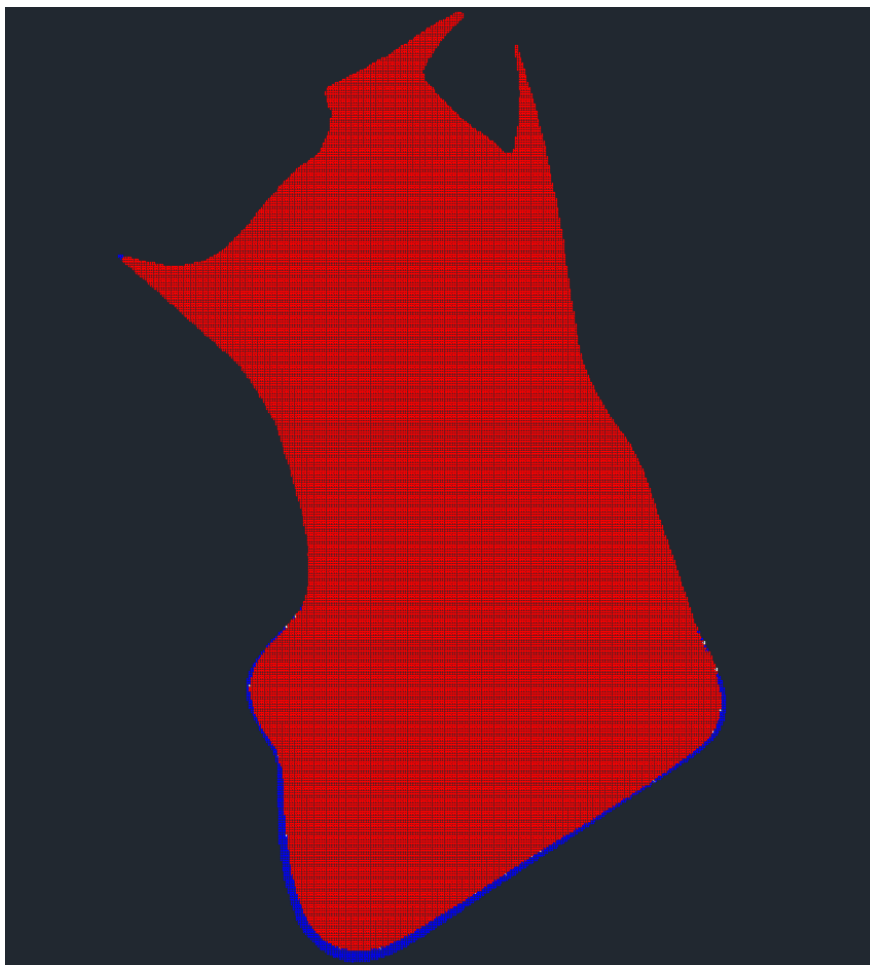


Figura 47 - Malha de referência (a azul) e a Malha atual (a vermelho) do Aterro Sanitário

-11.549	-11.156	-10.779	-10.394	-9.995	-9.459	-9.015	-8.909	-8.170	-7.999	-7.228	-6.770	-6.283	-5.909	-5.959	-4.896	-4.420	-3.910	-3.431	-2.999	-2.599	-2.100	-1.653	-1.208	-0.756	-0.397
10.887	-10.471	-10.078	-9.698	-9.206	-8.789	-8.309	-7.829	-7.400	-6.988	-6.465	-6.041	-5.579	-5.107	-4.697	-4.130	-3.642	-3.185	-2.697	-2.240	-1.848	-1.388	-0.927	-0.479	-0.029	0.458
10.159	-9.765	-9.360	-8.929	-8.494	-8.044	-7.560	-7.061	-6.591	-6.156	-5.692	-5.241	-4.802	-4.390	-3.962	-3.975	-2.898	-2.447	-1.969	-1.556	-1.127	-0.655	-0.204	0.201	0.592	
-9.463	-9.046	-8.629	-8.189	-7.729	-7.275	-6.804	-6.325	-5.831	-5.375	-4.939	-4.485	-4.016	-3.550	-3.094	-2.619	-2.179	-1.762	-1.295	-0.875	-0.462	0.029	0.489			
-8.791	-8.397	-7.990	-7.596	-6.947	-6.488	-6.030	-5.589	-5.098	-4.621	-4.194	-3.797	-3.287	-2.907	-2.399	-1.899	-1.494	-1.098	-0.615	-0.190	0.225	0.691				
-8.097	-7.612	-7.115	-6.649	-6.201	-5.745	-5.279	-4.945	-4.383	-3.899	-3.449	-3.000	-2.590	-2.071	-1.695	-1.192	-0.790	-0.940	0.079	0.493						
-7.398	-6.905	-6.419	-5.926	-5.486	-5.027	-4.562	-4.134	-3.700	-3.224	-2.792	-2.299	-1.944	-1.907	-0.994	-0.496	-0.079	0.392	0.692							
-6.701	-6.219	-5.694	-5.200	-4.751	-4.278	-3.845	-3.423	-2.985	-2.526	-2.067	-1.620	-1.189	-0.694	-0.251	0.167	0.579									
-5.978	-5.490	-4.992	-4.475	-4.024	-3.530	-3.106	-2.691	-2.278	-1.855	-1.392	-0.997	-0.448	0.019	0.429	0.808										
-5.181	-4.715	-4.221	-3.770	-3.319	-2.820	-2.392	-2.011	-1.594	-1.138	-0.690	-0.195	0.297	0.695												
-4.410	-3.971	-3.502	-3.062	-2.605	-2.129	-1.722	-1.315	-0.880	-0.427	0.035	0.467	0.839													
-3.642	-3.215	-2.748	-2.289	-1.836	-1.398	-1.001	-0.609	-0.172	0.293	0.675															
-2.857	-2.434	-2.017	-1.577	-1.194	-0.705	-0.307	0.063	0.458	0.910																
-2.146	-1.719	-1.346	-0.941	-0.490	-0.062	0.294	0.678																		

Figura 48 - Pormenor da Malha de referência (a azul) e da Malha atual (a vermelho) do Aterro Sanitário

No caso do cálculo do volume utilizando dados de Topografia, os valores resultantes para o volume de aterro foi de 1.816.659 m<sup>3</sup> enquanto para os dados de Fotogrametria esse volume foi de 1.821.772 m<sup>3</sup>.

Tal como referido em 6.2.1, a comparação dos volumes é efetuada estabelecendo a diferença dos volumes obtidos com a ajuda da Topografia e com a Fotogrametria pelo que:

$$D_{TOTAL}=|D_{TOPO}-D_{UAV}|$$

$$D_{TOTAL}=|1.816.659 -1.821.772|$$

ou seja,

$$D_{TOTAL}= 5.113 \text{ m}^3$$

sendo o valor do erro relativo de **0,28%**, num volume total de 1.821.772 m<sup>3</sup>.

Da pesquisa em literatura sobre comparação entre estes dois métodos, já Chris Cryderman et al., 2014, em estudo para validar levantamento realizado com sistema UAV, através da volumetria de amontoados de terras, concluíram que diferenças de volumes calculadas entre dados de Topografia e Fotogrametria com imagens adquiridas com UAV se podem encontrar na ordem dos 0,7%, num volume total de 530.255 m<sup>3</sup>.

Também a Pix4D, 2014, em estudo de um cenário específico de cálculo de volume de acumulados de areias, admite a ocorrência de um erro máximo que se situa entre os 0,3% e os 0,8% para um volume total de cerca de 166.250 m<sup>3</sup>.

Com valores um pouco mais representativos, mas ainda assim relativamente baixos, também Arango e Morales, 2015, comparara a estimativa do volume de acumulados de materiais, concluindo que a diferença entre os dois métodos se traduz em 3,5% do valor total de volume de cerca de 11.500 m<sup>3</sup>.

Assim, analisando os valores obtidos para o volume do aterro sanitário objeto de estudo desta dissertação, podemos verificar que os mesmos se encontram na mesma gama de valores dos referidos anteriormente, pelo que se admite, no âmbito dos trabalhos realizados nesta dissertação, que os mesmos se podem ter como válidos.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão tecidas considerações finais e conclusões, bem como descritas as maiores dificuldades encontradas ao longo dos trabalhos realizados, e também abordados trabalhos futuros que se pretendem efetuar.

### 7.1. Considerações Finais e Conclusões

#### 7.1.1. PARTE 1 - Qual a melhor ferramenta de processamento para modelos 3D para visualização?

As tabelas 6 e 7 apresentam, de uma forma resumida, os resultados, respetivamente para a zona de Baião e de Águeda.

Tabela 6 - Resumo dos resultados do modelo 3D de Baião

	Modelo 3D Baião				
	Qualidade realística	Tempo de execução	Tamanho em disco	Preço	Intutivo/user-friendly
PhotoScan da Agisoft	Boa	6h50m	1,78 GB	3.000€	Muito
Pix4Dmapper da Pix4D	Razoável	1h39m	7,90 GB	6.500€	Suficientemente
3D Survey da Modri Planet	Má	1h39m	1,19 GB	3.000€	Pouco

Tabela 7 - Resumo dos resultados do modelo 3D de Águeda

	Modelo 3D Águeda				
	Qualidade realística	Tempo de execução	Tamanho em disco	Preço	Intutivo/user-friendly
PhotoScan da Agisoft	Razoável	2h14m	3,04 GB	3.000€	Muito
Pix4Dmapper da Pix4D	Razoável	2h41m	5,69 GB	6.500€	Suficientemente
3D Survey da Modri Planet	Má	4h53m	697 MB	3.000€	Pouco

Dado verificar-se uma certa dispersão no que diz respeito aos resultados dos critérios base, existindo em cada um dos softwares aspetos positivos mas também alguns negativos, recorreu-se a dois fatores extraordinários para melhor apoiar a decisão de escolha.

Assim, recorreu-se também à análise do custo de compra dos respetivos softwares, bem como à aferição da facilidade da sua utilização e compreensão.

De uma forma geral, atendendo à finalidade da criação destes modelos (que se prende com questões estéticas), aos resultados dos critérios de tempo e tamanho, e por fim, estabelecendo ainda uma ligação ao preço e facilidade de funcionamento com software, pareceu razoável concluir-se para efeitos desta dissertação que o PhotoScan da Agisoft foi o software mais completo para a realização destes trabalhos.

Contudo, é de salguardar que a análise efetuada foi baseada nos pressupostos desta dissertação, e que o facto de não existir um conhecimento prévio mais aprofundado dos softwares poderá ter causado algum tipo de má interpretação ao nível do funcionamento e da escolha dos parâmetros a utilizar, podendo ter dado origem a resultados que tenham ficado aquém das verdadeiras potencialidades de cada um dos softwares. Um conhecimento mais aprofundado dos mesmos, bem como um estudo prévio melhor instruído sobre as capacidades e limitações de cada um deles, teria talvez levado a resultados ligeiramente diferentes.

Também é importante ressaltar que as imagens adquiridas na zona de Águeda não tinham como finalidade e criação de modelos 3D, o que teve bastante influência nos resultados finais.

Por fim, e na perspetiva de aquisição de software em que se encontram muitas empresas no momento, tendo em conta o preço e dado que cada vez existe menos tempo disponível para aprofundar conhecimentos em tantas ferramentas informáticas que é necessário utilizar na área da geoengenharia, reforça-se que o PhotoScan da Agisoft é uma excelente ferramenta de inicialização nesta área, não estando contudo fora de questão, com o aprofundamento de conhecimentos, estudar a aquisição de um software com outra potencialidade.

### **7.1.2. PARTE 2 - Qual a fiabilidade de volumes calculados com a fotogrametria e imagens adquiridas por UAV?**

#### **7.1.2.1. Maquetes**

No que diz respeito ao cálculo de volumes a partir de modelos 3D, à exceção do volume do cilindro que registou um erro relativo de 11%, os erros verificados nos valores dos volumes para as outras duas maquetes foram de 2% e 3%, respetivamente para a esfera e paralelepípedo. Dadas as circunstâncias existentes aquando do levantamento topográfico e aquisição das imagens, estes valores são aceitáveis, tendo ainda margem de melhoria com melhores condições de levantamento de informação.

Em termos da qualidade dos modelos 3D, e consequentemente da qualidade do cálculo do volume, foram notórias as consequências de se ter efetuado a aquisição das imagens em

condições de luminosidade muito inconstante, dado o levantamento ter sido efetuado num dia de grandes variações de nebulosidade. No início do levantamento, que foi obrigatoriamente efetuado dentro do edifício principal da ESTGA dado estar a chover, foi decidido colocar a mesa de apoio junto de uma das janelas para que as imagens não ficassem muito escuras e sem contraste. Contudo, as abertas de sol que se verificaram durante a aquisição das imagens, para além de refletirem muita luminosidade através das paredes e outros objetos, criaram manchas de luminosidade em excesso nas imagens o que terá diminuído a qualidade dos modelos 3D.

Também a falta de experiência na aquisição das imagens foi responsável por algumas das falhas existentes nos modelos, nomeadamente nas faltas de informação verificadas em algumas zonas dos objetos, como por exemplo na parte de baixo da bola que estava em contacto com a mesa de apoio. Deveriam aqui ter sido adquiridas mais imagens, em posições que permitissem captar mais pormenores do objeto.

Para além destes fatores, o formato, cor e textura dos objetos, bem como o seu estado de conservação são cruciais para a obtenção de bons resultados.

Assim, não foi de todo novidade o facto de o cilindro ter obtido piores resultados, uma vez que para além de ser um objeto usado, com algum grau de deterioração, é um objeto monocromático, em tom cinza, e sem textura associada.

Em resumo, tendo em atenção as dificuldades existentes durante todo o processo, pode concluir-se que os valores obtidos neste teste se traduzem numa boa indicação de que poderão ser utilizados modelos 3D para cálculo de volumes.

#### **7.1.2.2. Aterro sanitário**

Relativamente ao cálculo de volumes do aterro sanitário do Planalto Beirão, o valor encontrado de 0,28% como erro relativo do volume calculado com ajuda da Fotogrametria com imagens adquiridas por um UAV em relação àquele calculado com a ajuda da Topografia, servirá como um dos fatores base de apoio à decisão em utilizar novas tecnologias para realização de monitorização de aterros sanitários, uma vez que, conforme já referido anteriormente, comportam custos muito mais reduzidos que a Topografia.

Fica assim demonstrado o potencial da Fotogrametria com imagens adquiridas em UAV para a obtenção de informação pelo menos com a mesma qualidade da obtida com a Topografia, o que, aliado ao facto desta tecnologia ser cada vez menos onerosa, dado o grau de desenvolvimento dos sistemas UAV, a torna numa ferramenta extremamente interessante de vários pontos de vista.

Por fim, seria ainda interessante questionar se, para o caso de estudo utilizado, o erro relativo obtido, 0,28% tem qualquer tipo de impacto, nomeadamente financeiro para a entidade concessionária do aterro sanitário.

## **7.2. Trabalhos Futuros**

Fruto da realização destes trabalhos prevê-se a realização de um estudo mais aprofundado da fiabilidade do cálculo de volumes utilizando a Fotogrametria e imagens UAV, tendo novamente como base de trabalhos com maquetes, que representarão sólidos geométricos de dimensões conhecidas.

Pretende-se também averiguar a precisão geométrica do modelo 3D usando as medições topográficas feitas no aterro sanitário do Planalto Beirão e estudar o impacto que tem no cálculo de volumes os pneus que cobrem normalmente este tipo de aterros e que estão presentes no modelo 3D gerado pela Fotogrametria. Se necessário, será desenvolvido um filtro para a sua remoção. Prevê-se também estimar o impacto financeiro que uma determinada percentagem de erro cometido na estimação do volume tem.

## BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

- About UAVS. [www.uavs.org](http://www.uavs.org). Consultado a 22.10.2015.
- Arango, C., Morales, C., A., 2015. Comparison between multicopter UAV and total station for estimating stockpile volumes. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XL-1/W4.
- Cryderman, C., Mah, S., Shufletoski, A., 2014. Evaluation of UAV photogrammetric (2014). GEOMATICA. Vol. 68, N. 4, pg. 309 - 317.
- Colomina, I., Molina, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 92, Pg. 79-97.
- Eos Systems Inc, PhotoModeler, 2013. Accuracy of Pile Volume Measurement with Photogrammetry. [info.photomodeler.com](http://info.photomodeler.com). Consultado a 10.09.2016.
- Everaerts, J., 2009. NEWPLATFORMS – Unconventional Platforms (Unmanned Aircraft Systems) for Remote Sensing. European Spatial Data Research. Technical Report 56.
- Gomes Pereira, L., 2014. Apontamentos Aulas de Aquisição de Geoinformação - Mestrado Geoinformática. ESTGA (Ano letivo 2014/2015). Disponível em [elearning.ua.pt](http://elearning.ua.pt)
- Gonçalves, J. A., 2011. Nuvens de pontos e modelos tridimensionais a partir de fotografias. Workshop em Fotogrametria e Varrimento por Laser - Métodos, Tecnologias e Aplicações. Ordem dos Engenheiros.
- Guerrero, M., 2011. A Comparative Study of Three Image Matching. Algorithms: Sift, Surf, and Tese de mestrado da UtahState University, Estados Unidos da América, 94 pp.
- How accurate are UAV surveying methods? [pix4d.com/wp-content/uploads/2016/11/Pix4D\\_How-accurate-are-UAV-surveying-methods.pdf](http://pix4d.com/wp-content/uploads/2016/11/Pix4D_How-accurate-are-UAV-surveying-methods.pdf). Consultado a 23.09.2016.
- Legislação Portuguesa sobre drones. [www.economiapt.com/legislacao-portuguesa-drones](http://www.economiapt.com/legislacao-portuguesa-drones). Consultado a 10.10.2015.
- Lowe, D., G., 1999. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. Atas da Conferência Internacional em Computer Vision. Vol. 2, 1150-1158.
- MDT Standard. [www.aplitop.com/Supports](http://www.aplitop.com/Supports). Consultado a 15.06.2016.
- Moutinho, O., Rodrigues, A., Gonçalves, J., A., Sousa, J., J., Bento, R., 2015. Estudo Comparativo de Software fotogramétrico em diferentes ambientes com RPAS: Comercial vs. Open Source. VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, 29 e 30 de Outubro, Lisboa.
- Pereira, Z., 2016. Topografia II - Aulas Teóricas. ESTGA (Ano letivo 2005/2006).
- Photoscan-pro\_1\_2\_en\_user\_manual (2016). [www.agisoft.com/](http://www.agisoft.com/). Consultado entre 19.05.2016 e 18.12.2016.
- Pix4D manual. [support.pix4d.com/hc/en-us/sections/200591059-Manual#gsc.tab=0](http://support.pix4d.com/hc/en-us/sections/200591059-Manual#gsc.tab=0). Consultado entre 01.05.2016 e 19.12.2016.
- Remondino, F., Spera, M., Nocerino, E., Menna, F., Nex, F., 2014. State of the art in high density. The Photogrammetric Record. Pg. 144 - 166.
- RPAS: The Global Perspective 2016/2017. 2016 RPAS Yearbook 14<sup>th</sup> Edition. Pg. 144-149.
- Serra, L. A., 2014. O potencial dos UAV para atualização de cartografia municipal. Dissertação Mestrado em Engenharia Geográfica da Universidade de Lisboa. [repositorio.ul.pt/handle/10451/15527](http://repositorio.ul.pt/handle/10451/15527).

- Silva, C., Duarte, C., Souto, M., Santos, A., Amaro, V., Bicho, C. Sabadia, J., 2014. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. Boletim de Ciências Geodésicas. Vol. 22, pg. 73-94.
- UAV Models. [www.theuav.com](http://www.theuav.com). Consultado a 22.10.2015.
- UAV Aircraft & Aerial Video Systems. [www.draganfly.com](http://www.draganfly.com). Consultado a 21.10.2015
- Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market by Application (Military, Civil & Commercial, Homeland Security), Class (Small, Tactical, Strategic, Special Purpose), Subsystem, Energy Source, Material Type, Payload and Region, 2016 - Global Forecast to 2022. [www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html](http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html). Consultado a 06.10.2016
- US Army Counter-UAV Technology (2015). [www.unmannedsystemstechnology.com](http://www.unmannedsystemstechnology.com). Consultado a 28.10.2015.
- Veiga, L., 2007. Cálculo de volumes. Notas de aula, GA033 – Levantamentos Topográficos II. <http://www.cartografica.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2012/11/Volume2006a.pdf> Consultado a 02.03.2016.
- What do we call them: UAV, UAS or RPAS? [www.acuo.org.au](http://www.acuo.org.au). Consultado a 22.10.2015.
- [www.3dsurvey.si/3dsurvey\\_user\\_manual\\_eng\\_v183](http://www.3dsurvey.si/3dsurvey_user_manual_eng_v183). Consultado a 13.05.2016
- [www.geometriaelementar.blogspot.pt/2008/05/volume.html](http://www.geometriaelementar.blogspot.pt/2008/05/volume.html). Consultado a DIA, 05.03.2016.
- [www.knowledge.autodesk.com](http://www.knowledge.autodesk.com). Consultado a 02.03.2016.
- [www.resinorte.pt](http://www.resinorte.pt). Consultado a 15.10.2015.
- [www.tecmundo.com.br](http://www.tecmundo.com.br). Consultado a 04.11.2015.
- [www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328\\_en.pdf](http://www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_en.pdf). Circular 328\_an/190\_UAS (2011). Consultado a 05.11.2015.
- [www.techtodo.com.br](http://www.techtodo.com.br). Consultado a 05.11.2015.
- [www.questuav.com](http://www.questuav.com). Consultado a 11.11.2015.
- [www.archiproducts.com](http://www.archiproducts.com). Consultado a 18.11.2015.
- [www.dohenydrone.com](http://www.dohenydrone.com). Consultado a 23.11.2015.
- [www.sensefly.com/fileadmin/user\\_upload/sensefly/documents/brochures/eBee\\_RTK\\_pt.pdf](http://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/sensefly/documents/brochures/eBee_RTK_pt.pdf) (2014). Consultado a 25.11.2015.
- [www.droneng.com.br/processamento-de-imagens-de-drones-qual-software-usar](http://www.droneng.com.br/processamento-de-imagens-de-drones-qual-software-usar). Consultado a 25.11.2015.
- [www.questuav.com/news/drone-applications](http://www.questuav.com/news/drone-applications). Consultado a 29.11.2015.
- [www.air-vid.com/wp/20-great-uav-applications-areas-drones](http://www.air-vid.com/wp/20-great-uav-applications-areas-drones). Consultado a 29.11.2015.
- [topocal.es/fotogrametria-cartografia-y-fotografia-aerea-con-drones](http://topocal.es/fotogrametria-cartografia-y-fotografia-aerea-con-drones). Consultado a 02.12.2015.
- [www.suasnews.com](http://www.suasnews.com). Consultado a 03.12.2015.
- [www.eBee-RTK-Accuracy-Assessment](http://www.eBee-RTK-Accuracy-Assessment). Consultado a 04.12.2015.
- [www.interdrone.com/classes](http://www.interdrone.com/classes). Consultado a 04.12.2015.
- [www.questuav.com/technology/sensors](http://www.questuav.com/technology/sensors). Consultado a 10.12.2015.
- [www.dohenydrone.com/sensors](http://www.dohenydrone.com/sensors). Consultado a 12.12.2015.
- [www.grupoacre.com.pt/loja/sistemas-UAV-cartografia/UAV-Sirius-Pro](http://www.grupoacre.com.pt/loja/sistemas-UAV-cartografia/UAV-Sirius-Pro). Consultado a 12.12.2015.